

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2011

Marek Smolon

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra měřicí a řídicí techniky**

**Měření teploty bramy v procesu válcování**  
**Temperature Measurement in the Process of Rolling Slabs**

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Marek Smolon**

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2601R004 Měřicí a řídicí technika

Téma:

Měření teploty bramy v procesu válcování  
Temperature Measurement in the Process of Rolling Slabs

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se se zadanou problematikou a rozdělení jejího řešení na tematicky související celky a jednotlivé úkoly řešení.
2. Návrh alternativního řešení zadané problematiky a na základě zvolených kritérií zdůvodnění a vybrání nejvhodnější varianty.
3. Zpracování detailně teoreticky, návrhově a konstrukčně navrhované řešení.
4. Realizace navrhovaného řešení, provedení potřebných měření a ověření funkcí. Analýza stavu řešení a zhodnocení. Návrh dalšího možného postupu řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. ZEHNULA, K. *Snímače neelektrických veličin*. 2. vyd. Praha: SNTL- Nakladatelství technické literatury, 1983. 371 s.
2. ĎAĎO, S. - KREIDL, M. *Senzory a měřicí obvody*. 2. vyd. Paha: Vydavatelství ČVUT, 1999. 314 s. ISBN 80-01-02057-6 (brož.).
3. CHVÁLA, B. - MATIČKA, R. - TALÁCKO, J. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 275 s. ISBN 80-03-00361-X.
4. VLACH, J. - VLACHOVÁ, V. *Počítačová rozhraní, přenos dat a řídicí systémy*. 2. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002. 176 s. ISBN 9788073000103.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Bohumil Horák, Ph.D.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval společnosti Jakar Electronics, spol. s r.o. za dodání termoelektrické sondy a Bc. Robinu Bojkovi za odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

## PROHLÁŠENÍ STUDENTA

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

Datum: .....

Podpis:.....

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je návrh a realizace měřicího zařízení pro měření teploty. Tento vyrobený systém bude používán pro měření teploty brám ve válcovacím procesu. Požadavek na zhotovení tohoto měřicího přípravku zadala společnost AL INVEST Břidličná. a.s. Nejprve bude proveden teoretický rozbor problematiky zabývající se měřením teploty termočlánkem a další oblasti s tímto tématem související. Dále bude navrhována konstrukce a elektronická část měřicího přístroje, jenž bude následně vyroben. V závěru práce bude vyvinut program řídící celý přípravek a bude provedeno odpovídající testování.

## **ABSTRACT**

The main purpose of this bachelor work is the design and implementation of instrumentation for measuring temperature. This madden system will be used for temperature measurements in rolling process. The requirement for the construction were commissioned by AL INVEST Břidličná a.s. At first there is the theoretical analysis of the problems involved in measuring the temperature of thermocouple and other areas related to this topic. There will be designed a construction and electronic part of measuring instrument, witch will be also made. In the end of this work, there is written the controlling program and will be conducted adequate testing.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

kalibrace, mikroprocesor, měření teploty, Seebeckův jev, senzor, studený konec, teplota, teploměr, termočlánek

## **KEYWORDS**

calibration, microprocessor, temperature measurement, seebeck effect, sensor, cold junction temperature, thermometer, thermocouple

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

RS 232	- Datová sériová linka
RS 485	- Asynchronní sériová linka
ISO	- Mezinárodní organizace pro standardizaci (International Organization for Standardization)
A/D	- Analogově digitální převodník
r.	- Zkratka pro označení roku
č.	- Zkratka pro označení čísla
LCD	- Displej z tekutých krystalů (Liquid Crystal Display)
IEC	- Mezinárodní úřad pro elektrotechniku (International Electrotechnical Commission)
el.	- Elektrický
t.n.	- Termočláňkové napětí
PC	- Osobní počítač (Personal Computer)
USB	- Univerzální sériová sběrnice (Universal Serial Bus); Komunikační rozhraní používané u osobních počítačů
ISP	- Programovací rozhraní mikrokontrolérů (Internet Service Provider)
SMD	- Součástka pro povrchovou montáž (Surface Mounted Device)
I/O	- Vstup/Výstup (Input/Output)
ASCII	- Kódová tabulka definující znaky anglické abecedy
AVR	- Programovací prostředí k vývoji programů pro mikrokontroléry firmy Atmel
V-USB	- Programová implementace rozhraní USB určená pro mikrokontroléry AVR

# OBSAH

1.	Úvod .....	1
2.	Stávající řešení v AL INVEST Břidličná, a.s. ....	2
2.1	Obecně .....	2
2.1.1	Princip měření .....	2
3.	Teorie .....	3
3.1	Měření teplot v průmyslu .....	3
3.1.1	Základní principy měření teploty .....	3
3.2	Termočlánky .....	5
3.2.1	Termoelektrické napětí.....	5
3.2.2	Zapojení termočlánků.....	6
3.2.3	Druhy Termočlánků .....	7
3.2.4	Druhy měřicích spojů.....	8
3.2.5	Jednotlivé části měřicího řetězce.....	10
3.3	Zesílení termočlánkového napětí .....	10
3.4	Kompenzační vedení .....	11
3.5	Přesnost a spolehlivost .....	11
4.	Druhy kalibrace .....	12
4.1	Kalibrace termoelektrických snímačů.....	13
5.	Požadavky pro zhotovení zařízení.....	14
6.	Návrh měřicího zařízení .....	15
6.1	Konstrukce .....	15
6.2	Možnosti realizace měřicího hrotu.....	16
6.3	Blokové schéma navrhnutého řešení.....	17
6.4	Hardware.....	18
6.5	Mikroprocesor .....	18
6.6	Teplotní čidlo DS18B20 .....	19
6.7	Display .....	20
7.	Popis softwaru .....	21
7.1	AVR studio 4.12 .....	22
7.2	Funkce.....	22
8.	Oživení, ověření funkce .....	23
9.	Návrh dalšího možného řešení .....	25
10.	Závěr .....	26
11.	Použitá literatura .....	27
12.	Seznam příloh .....	28



# 1. Úvod

Účelem této bakalářské práce je navrhnout a zhotovit ruční dotykový měřicí přístroj sloužící pro měření teploty brambor ohříváných v plynové peci. Převod teploty na odpovídající informaci ve formě elektrické energie, bude zajišťovat termočlánek typu K. Výstupní hodnota napětí termočlánu, bude přivedena na vstupní část vyhodnocovací elektroniky. Naměřená hodnota teploty bude nakonec zobrazena pomocí displeje umístěného v oblasti rukojeti měřicího zařízení. Pro navržení popsaného systému bude potřeba nastudovat problematiku měření teploty pomocí termočlánků, způsoby kalibrace apod. Dále bude také proveden rozbor možných řešení a podle zadaných kritérií zvoleno jedno a to detailněji popsáno, vyrobeno a otestováno.

## **2. Stávající řešení v AL INVEST Břidličná, a.s.**

### **2.1 Obecně**

Společnost AL INVEST Břidličná, a.s. je významným evropským a největším tuzemským výrobcem obalových materiálů a válcovaných polotovarů z hliníku, který dnes zaměstnává více než 800 obyvatel bruntálského regionu.

V současné době je používáno ve firmě AL INVEST Břidličná, a.s. ruční měřicí zařízení, podobné jako zařízení popsané v úvodu. Měřicí zařízení se skládá z měřicí sondy, signálního vedení, vyhodnocovacího zařízení a zobrazovacího zařízení. Všechny tyto zmíněné části jsou upevněny na jednoduché konstrukci. Komunikaci s velínem obstarává sériová sběrnice RS 485.

#### **2.1.1 Princip měření**

Během ohřevu snímá teplotu povrchů bloků k tomu určená obsluha tak, že přes dvířka ve stěnách pecí přiloží hrot měřicího zařízení na nefrézované boky bloků. Nefrézovaná licí kůra bloků vykazuje nerovnosti cca. 5mm. Dotykový měřič je v peci vystaven při měření velké tepelné zátěži. Pracovní teplota se pohybuje v rozmezí od 50 do 650°C.

Termočlánkové hroty vyčnívající z měřicího zařízení, jsou obsluhou přitlačeny na měřený objekt. Po přiložení měřících hrotů k měřené brambě dojde k jejich propojení materiálem bramy a vzniku termočlánku se dvěma přechody. Na výstupu termočlánku je poté možné změřit termoelektrické napětí závislé na teplotě měřeného objektu. Nepřesnosti a chyby měření mohou vzniknout nedostatečným přitlakem jednoho z hrotů na povrch bramy. Tento stav je potřeba eliminovat vhodnou mechanickou konstrukcí a uchycením měřících hrotů. Jelikož měření provádí obsluha, tedy lidé, je vždy do měřicího procesu vnesena určitá chyba. Při měření nelze dosáhnout toho, aby člověk přiložil měřicí hrot vždy pod stejným úhlem a se stejnou silou. Síla přitlaku má velký vliv na chyby měření. To hlavně z toho důvodu, že na povrchu bramy se ve fázi ohřevu v plynové peci vytváří zoxidovaná vrstva. Při nedostatečné síle přitlaku měřicího hrotu na bramu může dojít k tomu, že se hrot nedostane až na měřený materiál, ale zastaví se na zoxidované vrstvě, která má odlišné elektrické vlastnosti (vytváří se na ní odlišné termoelektrické napětí a tím vzniká chyba).

S ohledem na vzájemnou kompenzaci dvou přechodů (z a do materiálu) v sérii se materiálové vlastnosti galvanického propojení "prakticky" neprojeví. Vzdálenost mezi hroty vůči velikosti měřené hmoty nemá vliv na změnu tepelného pole materiálu, pokud se doba přitlaku pohybuje řádově nad 10s. Problém se zoxidovanou vrstvou též v principu není, protože ve stavu, dokud není galvanické propojení, tak je stav měřicího obvodu jako u rozpojeného termočlánku a měřený údaj tomu odpovídá. Vzhledem k působícím silám obsluhy na sondu a malé mechanické odolnosti zoxidované vrstvy to není problém.

## 3. Teorie

### 3.1 *Měření teplot v průmyslu*

Teplota bývá považována za základní a nejčastější veličinu v oblasti průmyslového měření. Na měření teploty obvykle záleží řada výrobních procesů.

System pro měření teploty je možné pomyslně rozdělit na dva základní bloky:

- Blok převodu teploty na elektricky zpracovatelný signál.
- Blok zpracování elektrického signálu z předchozího bloku.

První blok obsahuje tzv. senzory teploty - převodníky teploty na elektricky měřitelnou veličinu (odpor, napětí), které mohou pracovat na nejrůznějších principech. V tomto případě je využito Seebeckova jevu.

Tento blok může buď jen přizpůsobovat a zesilovat signál, nebo již unifikovat analogový elektrický signál (napětíový 0-10V, proudový 0-20mA, 4-20mA -analogová proudová smyčka - atd.) ze senzoru s případnými korekcemi nežádoucích vlastností, jakými jsou například nelinearita, odstup signál-šum apod. Také však může provádět přímý převod analogového signálu na digitální, korekce provádět již softwarově a přizpůsobit přenos dat například do obvyklého standardu sériového přenosu (RS-232, RS-485 apod.). [15]

V případě, že jsou oba bloky součástí jednoho kompaktního provedení, označuje se převážně takové čidlo jako inteligentní.

#### 3.1.1 Základní principy měření teploty

- **Dotykové měření** – senzor musí být připevněn (dotýkat se) objektu či látky, jejíž teplotu má měřit. Využívá se zde přímého přenosu tepla mezi dvěma objekty. Lze ho využít všude tam, kde je snadný přístup k měřenému objektu, okolní prostředí nebo sám měřený objekt chemicky nebo jinak nereaguje se senzorem.
- **Bezdotykové měření** – senzor se nachází v určité vzdálenosti od měřeného objektu, a tím nedochází k vzájemnému ovlivňování. Využívá se zde jevu, kdy každý objekt o určité teplotě vyzařuje určitou vlnovou délku infračerveného záření - pyrometrie.

#### Srovnání dotykových a bezdotykových senzorů

V tradičním strojírenském prostředí mají dotykové metody proti optickým zřejmou výhodu ve větší toleranci vůči znečištění. Snímací hrot odsune drobné nečistoty nebo mu nevadí olejová vrstva. Optická sonda vyžaduje skutečně dlouhodobě čistý měřený povrch s definovanou

emisivitou. V tomto prostředí je velmi důležité použití hodnotících parametrů struktury povrchu, které jsou definovány ve standardech ISO. Proto je zatím ve strojírenské praxi dáována přednost dotykovým měřicím přístrojům.

Je-li měřený povrch dlouhodobě znečištěný, bezkontaktní měřicí zařízení vykazuje chyby, v tomto případě lepší výsledky zajistí dotykový měřicí přístroj. Přesto praktické přednosti bezkontaktního měření často převáží tuto standardní správnost výsledku. To se projeví zejména při nasazení v kontrolních procesech, kde je velmi důležitá rychlost procesu a relativní měření je prakticky významnější než absolutní. Je třeba zdůraznit, že existuje řada povrchů, které nelze dotykovým měřidlem vůbec měřit a u nichž musí být použita bezdotyková metoda. Patří mezi ně povrchy některých nových konstrukčních materiálů nebo moderní, tzv. technické povrchy, jako jsou např. sestavy mikrorozměrných čoček, součástky paměťových zařízení apod., kde velké rozměrové rozdíly profilu povrchu znemožňují použití snímacího hrotu. [15]

### **Odporové pasivní senzory**

Pasivní odporové senzory teploty pracují na principu využití závislosti odporu kovů na teplotě.

Tyto senzory se velmi často využívají v oblastech s velkým rozsahem měřených teplot, jako jsou oblasti regulace topných systémů, zpracování materiálů, potravinářství atd. Často jeden z hlavních sledovaných parametrů pro výběr senzoru je převodní charakteristika a její linearita a strmost. Ta je různá v závislosti na typu odporového senzoru - kovové (převážně Pt a Ni), polovodičové - termistory (NTC a PTC) a monokrystalické senzory. Zvláště kovové senzory se vyznačují velkou linearitou, malou chybou měření a dlouhodobou stabilitou. Termistory se zase vyznačují velkou citlivostí.

### **Napětíové aktivní senzory**

Výstup těchto senzorů je již přímo napětíový signál. Zvláště polovodičové křemíkové senzory s PN přechodem mají výhodu ve snadné integraci spolu se zpracovávajícími obvody, logikou a AD převodníkem přímo na jenom čipu. Další výhodou je velká citlivost  $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$  a linearita.

Jejich nevýhodou je pak malý měřitelný rozsah teplot daný materiálem (do  $125^\circ\text{C}$ ). Právě tento způsob je téměř vždy využíván pro senzory teploty s diskrétními či číslicovými sériovými výstupy, jakými jsou součástky MAX657x, AD7816, LM75, SMT-160 nebo známé DS162x a jednovodičové DS182x. Termočlánky se naopak vyznačují velkým rozsahem teplot (až  $2000^\circ\text{C}$ ) a miniaturními rozměry, ale nízkou citlivostí ( $\text{mV}/^\circ\text{C}$ ). Proto je třeba napětí na výstupu zesílit.[15]

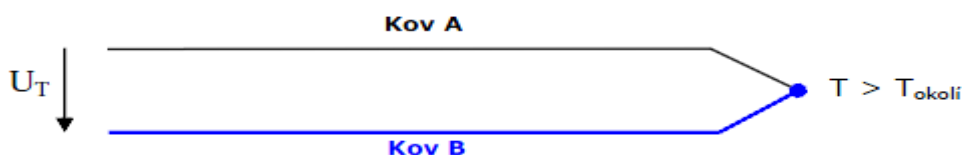
## 3.2 Termočlánky

Termočlánky využívají termoelektrického jevu, který byl uveden ruským vědcem Epinusem již r. 1758. V souvislosti s tímto objevem bývá uváděn také německý fyzik Seebeck (1821). Termoelektrická řada materiálů sestavena Seebeckem platí v hlavních rysech dosud. Tento jev patří k nejstarším, které jsou pro konstrukci snímačů neelektrických veličin využívány. Snímače dosáhly značného rozšíření pro svoji jednoduchost a odolnost proti mechanickému a tepelnému namáhání. Termoelektrické snímače teploty jsou vhodné pro měření rychlých změn teploty a to proto, že mají krátkou dobu odezvy.

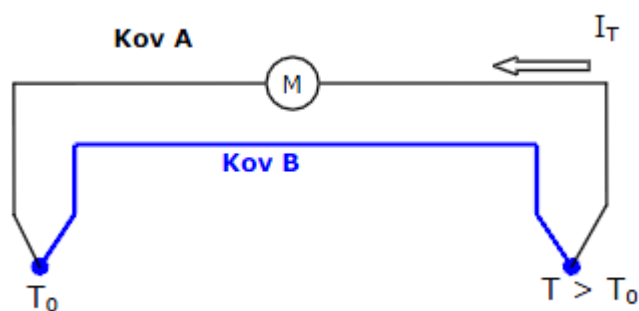
### 3.2.1 Termoelektrické napětí

#### Seebeckův jev

Seebeckův jev, jenž objevil Thomas Seebeck v roce 1821, uvedl, že při spojení dvou navzájem různých kovů vzniká napětí, které je svým způsobem úměrné absolutní teplotě. Tomuto napětí lze také říkat termoelektrické napětí.



Obr. 3.1: Termočlánek (Seebeckovo) napětí



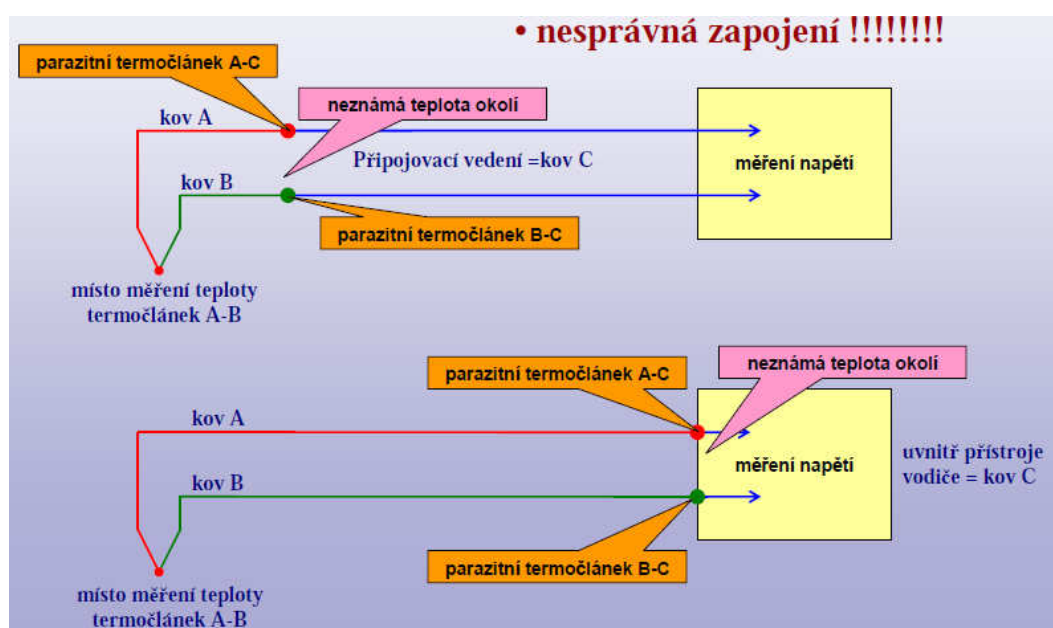
Obr. 3.2: Učebnicové zapojení pro demonstraci Seebeckova jevu

Pro praktické využití Seebeckova jevu pro měření teploty je potřeba zvolit takovou dvojici kovů, jejichž termočlánekové napětí je mnohem větší než termoelektrického napětí ostatních

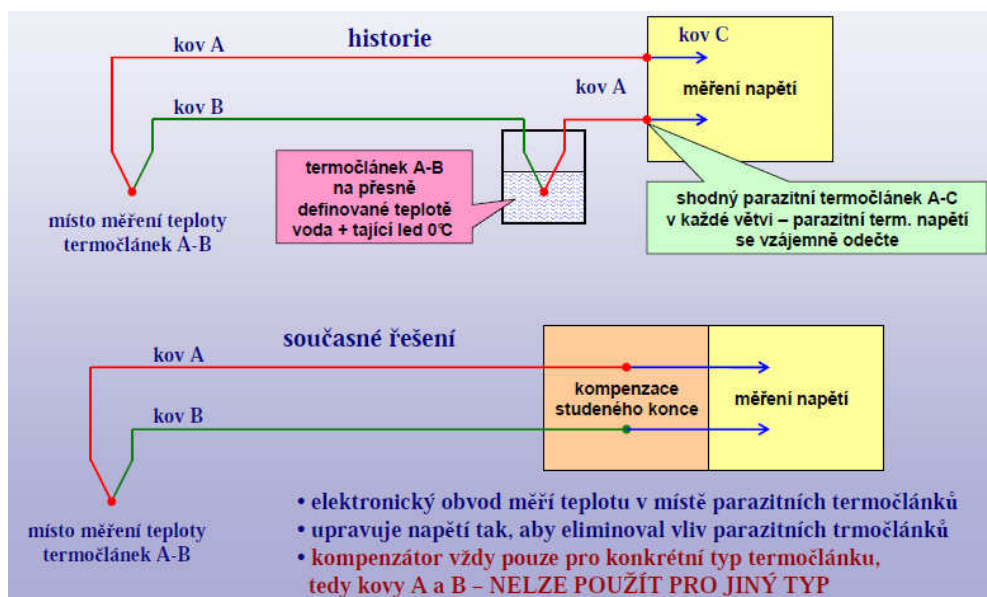
kovů, které se používají pro konstrukci el. obvodů a přístrojů– měď, zinek, ocel, mosaz atd. Dalšími přirozenými požadavky na používané materiály jsou: mechanické vlastnosti (zpracovatelnost, tvárnost, svařitelnost), dostupnost (přijatelná cena), životnost (stálost parametrů při vysokých teplotách).

Nelze prakticky změřit skutečnou absolutní hodnotu termočlánekového napětí odpovídající jednoho rozhraní dvou kovů (termočláнку). Pro jeho změření je potřeba zařadit měřicí přístroj a tím uzavřít napěťovou smyčku. Vzniká nejméně jeden další heterogenní spoj, na němž vzniká t. n. s opačnou polaritou. Změříme tedy vždy pouze rozdíl dvou t. n., který odpovídá rozdílu teplot obou spojů. Spoj nacházející se v měřeném prostředí se označuje jako „měřicí“ („horký“), druhý spoj je „srovnávací“ (referenční, studený). Při sestavování vzorců a tabulek závislosti termoelektrického napětí, napětí na teplotě se jako vztažná teplota druhého konce bere teplota 0°C.

### 3.2.2 Zapojení termočláneků



Obr. 3.3: nesprávné zapojení termočláneků [12]



Obr. 3.4: správné zapojení termočláneků [12]

### 3.2.3 Druhy Termočláneků

Termoelektrické senzory jsou vyráběny z normalizovaných materiálů. Dvojce materiálů jsou vybrány tak, aby zajišťovali přijatelnou nelinearitu termoelektrického napětí v závislosti na teplotě pro daný rozsah. Tyto materiály zajišťují také odolnost proti chemickým vlivům, korozi, záření. Termoelektrické sondy jsou značeny podle normy ČSN EN 60584-1 velkými písmeny abecedy. V tabulce č. 3.1 je přehled jednotlivých termočláneků.

Typ	Teplotní rozsah °C (kontinuální)	Teplotní rozsah °C (krátkodobě)	Toleranční třída jedna (°C)	Třída přesnosti dva (°C)	IEC Barevný kód	BS Barevný kód	ANSI Barevný kód
K	0 až 1100	-180 Až +1300	$\pm 1,5$ mezi $-40^{\circ}\text{C}$ a $375^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,004 \times T$ mezi $375^{\circ}\text{C}$ a $1000^{\circ}\text{C}$	$\pm 2,5$ mezi $-40^{\circ}\text{C}$ a $333^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,0075 \times T$ mezi $333^{\circ}\text{C}$ a $1200^{\circ}\text{C}$			
J	0 až 750	-180 Až 800	$\pm 1,5$ mezi $-40^{\circ}\text{C}$ a $375^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,004 \times T$ mezi $375^{\circ}\text{C}$ a $750^{\circ}\text{C}$	$\pm 2,5$ mezi $-40^{\circ}\text{C}$ a $333^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,0075 \times T$ mezi $333^{\circ}\text{C}$ a $750^{\circ}\text{C}$			
N	0 až 1100	-270 Až 1300	$\pm 1,5$ mezi $-40^{\circ}\text{C}$ a $375^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,004 \times T$ mezi $375^{\circ}\text{C}$ a $1000^{\circ}\text{C}$	$\pm 2,5$ mezi $-40^{\circ}\text{C}$ a $333^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,0075 \times T$ mezi $333^{\circ}\text{C}$ a $1200^{\circ}\text{C}$			
R	0 až +1600	-50 Až +1700	$\pm 1,0$ mezi $0^{\circ}\text{C}$ a $1100^{\circ}\text{C}$ $\pm [1 + 0,003 \times (T - 1100)]$ mezi $1100^{\circ}\text{C}$ a $1600^{\circ}\text{C}$	$\pm 1,5$ mezi $0^{\circ}\text{C}$ a $600^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,0025 \times T$ mezi $600^{\circ}\text{C}$ a $1600^{\circ}\text{C}$			Není definována.
S	0 až 1600	-50 Až +1750	$\pm 1,0$ mezi $0^{\circ}\text{C}$ a $1100^{\circ}\text{C}$ $\pm [1 + 0,003 \times (T - 1100)]$ mezi $1100^{\circ}\text{C}$ a $1600^{\circ}\text{C}$	$\pm 1,5$ mezi $0^{\circ}\text{C}$ a $600^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,0025 \times T$ mezi $600^{\circ}\text{C}$ a $1600^{\circ}\text{C}$			Není definována.
B	200 do 1.700	0 až +1820	Není k dispozici	$\pm 0,0025 \times T$ mezi $600^{\circ}\text{C}$ a $1700^{\circ}\text{C}$	Žádná standardní použití měděného drátu	Žádná standardní použití měděného drátu	Není definována.
T	-185 Až 300	-250 Až 400	$\pm 0,5$ mezi $-40^{\circ}\text{C}$ a $125^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,004 \times T$ mezi $125^{\circ}\text{C}$ a $350^{\circ}\text{C}$	$\pm 1,0$ mezi $-40^{\circ}\text{C}$ a $133^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,0075 \times T$ mezi $133^{\circ}\text{C}$ a $350^{\circ}\text{C}$			
E	0 až 800	-40 Až +900	$\pm 1,5$ mezi $-40^{\circ}\text{C}$ a $375^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,004 \times T$ mezi $375^{\circ}\text{C}$ a $800^{\circ}\text{C}$	$\pm 2,5$ mezi $-40^{\circ}\text{C}$ a $333^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,0075 \times T$ mezi $333^{\circ}\text{C}$ a $900^{\circ}\text{C}$			
Chromel / AuFe	-272 Až 300	n / a	Reprodukovatelnost 0,2% napětí, každý snímač potřebuje individuální kalibrace.				

Tab. 3.1: Typy termoelektrických senzorů podle ČSN EN 60584-1 [13]

**Typ K:** Má složení NiCr-NiAl (chromel alumel) a je vhodný pro interní atmosféru a nehodí se pro měření ve vakuu.

**Typ T:** Má složení Cu-CuNi (měď-konstantan) a je nejlepším termočlánkem pro nízké teploty. Je vhodný pro kryogenní aplikace v oxidační atmosféře a ve vakuu ho lze použít až do teploty 700 °C.

**Typ J:** Má složení Fe-CuNi (železo-konstantan) a lze ho použít v oxidační atmosféře i ve vakuu. Lze ho použít bez ochranného krytí.

**Typ N:** Má složení NiCrSi-NiSiMg (microsil-nisil) a má velmi stabilní charakteristiku až do 1300 °C. Hodí se pro cyklické změny teploty a dále pro jadernou energetiku.

**Typ E:** Má složení NiCr-CuNi (chromel-konstantan) a má nejvyšší hodnotu termoelektrického koeficientu. Lze ho použít ve vakuu a středně oxidační atmosféře, kde ho lze používat bez ochranného krytí.

**Typ R:** Má složení PtRh13-Pt a je používán pro měření vysokých teplot až do 1780°C. Je odolný vůči oxidaci, ale vždy musí být v ochranném provedení.

**Typ S:** Má složení PtRh10-Pt a je svými vlastnostmi identický s typem R

**Typ B:** Má složení PtRh30-PtRh6 a je použitelný až do 1800 °C (do 300 °C má velmi malou citlivost). Má podobné vlastnosti jako typ R a S, ale má výhodu větší stability při teplotách nad 1200 °C.

**Typ G:** Má složení W-WRh a používá se pro vysoké teploty (nad 400 °C). Je chemicky stálý a vhodný pro použití jak v oxidační, tak inertní atmosféře, ve vakuu a ve vodíku.

**Typ C:** Má složení WRh5-WRh26 a je svými vlastnostmi podobný typu G. [10]

Podle normy IEC 584.2 se termoelektrické články v různých teplotních rozsazích rozdělují do tří tolerančních tříd s tolerancemi od  $\pm 1$  °C do  $\pm 4,5$  °C.

### 3.2.4 Druhy měřicích spojů

Každý termočlánek musí používat měřicí spoj a referenční spoj na dvou rozdílných teplotách. Měřicí spoj má obvykle na vyšší teplotu a referenční spoj má teplotu okolí. Měřicí spoj je vložen do, nebo položena na cokoli co se má měřit a referenční spojka je připojena buď do řadiče, nebo do teplotního indikátoru.

V této kapitole se pokusím vysvětlit princip běžně používaných měřicích spojů v průmyslových aplikacích a také proč jsou jednotlivé spojky důležité.



### **Uzemněný spoj**

Uzemněný spoj je nejběžněji používanou spojkou v průmyslu. Tento způsob je použitelný na zařízení, které mají elektrický vodivý kovový obal, což znamená, že měřicí spojka termočlánek je v elektrickém kontaktu s ním. Tato spojka zajišťuje rychlou odezvu a zajišťuje dlouhou životnost v korozivním prostředí. Může nahradit odkryté termočlánky větších průměrů se stejnou odchylkou a navíc ochranným obalem.

### **Neuzemněný spoj**

Tento typ spoje je vyžadován, když je termočlánek použit se zařízením, které není samo o sobě vnitřně elektricky izolováno. Tento typ spoje má pomalejší odezvu než uzemněné, ale může být spolehlivější a robustnější. Tato spojka je excelentní ve vodivých řešeních a může mít dlouhou životnost v podmínkách vibračních šoků a koroze.

### **Odkrytý spoj**

Odkrytý spoj je takový spoj, který není chráněn žádným obalovým materiálem. Je to spoj s nejrychlejší odezvou, ale je také náchylný korozivnímu selhání. Je obecně doporučován pro měření teplot plynů nebo pevných látek v nekorozivním prostředí. Kovový obal malého průměru s odkrytou termočlánekovou spojkou má velmi malý povrch k teplotnímu vedení teploty, proto má velmi velkou rychlost odezvy.

### **Spoj s redukovanou stěnou**

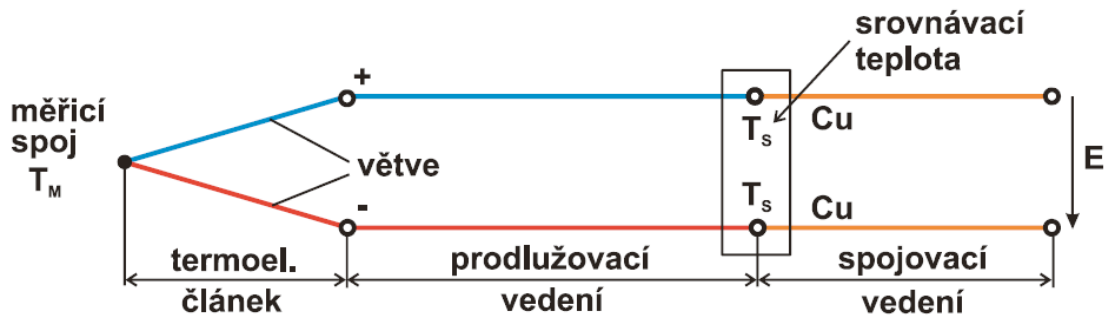
Základním smyslem tohoto spoje je nabídnout kombinaci fyzické pevnosti krytých termočlánků s velkým průměrem a doby odezvy malých termočlánků. Tento spoj může být buď uzemněný, nebo neuzemněný. Malý povrch měřicí špičky zajistí opravdu rychlou odezvu, ale spoj bude mít pevnostní vlastnosti termočlánků větších průměrů.

### **Spoj plochý k zemi**

Tento spoj je plochý k zemi k redukování hmoty pro rychlejší odezvu. Může být použita v měřicích zařízeních zahřátých objektů a může být kombinovaná s uzemněnou nebo neuzemněnou konstrukcí.

Spoje uvedené výše mohou být vytvořeny svářením, pájením, tvrdým pájením nebo mechanickým spojováním. Úvaha při výběru spojovací techniky zahrnuje pevnost spojení, odolnost kontaktů, podmínky prostředí (zahrnuje operační teplotu) a kompatibilitu spojovací metody se zvolenými materiály termočláneků. Jak můžete vidět, hlavními kritérii při výběru spojky je doba odezvy, typ měřeného média a elektrická izolace. Spojky popsané v tomto technickém článku mohou být využity s kterýmkoli z J, T, K, E typů termočlánků k dosažení nejlepšího dostupného řízení teploty a měření.

### 3.2.5 Jednotlivé části měřicího řetězce



Obr. 3.5: Části měřicího řetězce termoelektrického senzoru

Měřicí řetězec termoelektrického senzoru se skládá, jak je patrné na obrázku číslo 3.5 z měřicího spoje což je vlastně měřená teplota dále pak srovnávacího spoje, což je teplota srovnávacího vedení.

Prodlužovací (kompenzační) vedení je použito pouze k prodloužení cesty signálu z termočláнку - sondy až k vyhodnocovacímu přístroji. Prodlužovací vedení má pro své použití obvykle nižší dovolenou teplotu okolí. Může totiž přenášet i signál představující vyšší teplotu než ta dovolená, ale fyzikálně nemůže být vystaveno vyšší teplotě okolí. Termočlánekový drát se může použít i jako prodlužovací vedení, avšak prodlužovací vedení se nemůže použít ve snímací části termočláunku nebo sondy.

### 3.3 Zesílení termočlánekového napětí

Výstupní napětí termočláneků je velice malé, řádově jednotky až desítky mV. Měření takto malých napětí s poměrně velkou přesností je problematické. Termočlánek typu K, který je v této práci použit, má v rozsahu teplot od  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+1350\text{ }^{\circ}\text{C}$  výstupní napětí od  $-1,889\text{ mV}$  do  $+39,314\text{ mV}$ . Takto malá napětí můžeme měřit přesnými milivoltmetry, to se však týká více laboratorního měření (neposkytuje přímo údaj o teplotě). Pro měření běžnými voltmetry, případně A/D převodníky, je nutno termočlánekové napětí zesílit. K tomuto účelu se dobře hodí integrované přístrojové nebo diferenční zesilovače. Na trhu jsou i speciální obvody, přímo určené pro měření termoelektrické napětí, které mají přímo na čipu integrovanou kompenzaci srovnávacího spoje.

### 3.4 Kompenzační vedení

Při krátkých vzdálenostech a při použití ohebného termočlánku je možné termočlánek zapojit přímo do vyhodnocovacího přístroje. Obvykle je však potřeba přivést signál z termočlánku vzdáleného několik metrů až několik desítek metrů (elektrárny apod.). Při použití měděného prodlužovacího vodiče by byl signál znehodnocen – rozhraní prodlužovací vodič / termočlánek by se stalo novým referenčním koncem, jehož teplota není známa. Vložené vedení nesmí přidávat žádné další termočlánekové napětí ani napětí parazitních galvanických článků. Parazitní galvanický článek vznikne například tehdy, jestliže se svorka, ve které se stýkají dva různé kovy, nachází ve vlhkém prostředí. Ideálním způsobem je použití stejného materiálu, jako jsou větve termočlánku. Tyto materiály však bývají poměrně drahé, proto se používá materiálů náhradních, které v pásmu do 0 až 200°C mají téměř stejnou závislost jako termočlánekové kovy.

Vedení z náhradního materiálu se pak označuje jako kompenzační vedení. Ze stejného materiálu jako kompenzační vedení se pak vyrábějí konektory a svorkovnice.

**Poznámka:** *Názvem prodlužovací vedení se označuje přívod vyrobený z termočlánekového drátu, zatímco kompenzační vedení je vyrobeno z levnějšího náhradního materiálu [1].*

### 3.5 Přesnost a spolehlivost

Absolutní přesnost měření teplot termočlánekem v porovnání například s odporovým senzorem Pt100 není v běžných případech příliš vysoká. Dosahovanou přesnost je však třeba posuzovat podle účelu, ke kterému má celé zařízení sloužit. Například jedná-li se o regulaci teploty v předehřívací peci nebo havarijní limitní spínač, je zde možno za vyhovující přesnost považovat hodnotu  $\pm 20^\circ\text{C}$ . Většina průmyslových pecí vystačí s přesností zhruba  $\pm 10^\circ\text{C}$  při teplotách 500–1000°C. Je-li vyžadována vyšší přesnost, je nutno použít termočlánek vyšší třídy přesnosti nebo individuálně kalibrovaný přívod k měřicímu přístroji (kompenzační vedení) a teplotní kompenzace měřicího přístroje musejí být pečlivě provedeny. Samotný termočlánek musí být pravidelně kontrolován, v případě potřeby znovu kalibrován nebo vyměněn.

**Nejistoty** při měření teploty termočlánky vznikají na několika místech měřicího řetězce:

- **Přenos tepla** k termočlátku – lze rozdělit na chyby setrvačné a chyby vzniklé nedokonalým přestupem tepla nebo tepelnou vodivostí měřicího čidla (termočlánek odvádí teplo a ovlivňuje měřený objekt). V těchto případech je naměřena nižší teplota než skutečná. Rozdíl může činit i desítky stupňů, zejména při měření ve vakuu.
- **Termočlánek** – chyba termočlánku závisí na čistotě, homogenitě a přesném dodržení složení materiálu. Například pro typ K je standardní odchylka 0.75% z měřené hodnoty ( $^\circ\text{C}$ ), nejméně však  $2.2^\circ\text{C}$  [1]. Potom například při teplotě 700°C je chyba vlastního termočlánku

$$\Delta t = 0.0075 \cdot 700 \cong 5^{\circ}\text{C } 700.$$

Lze zakoupit termočlánky se zvýšenou přesností, jejich chyba je zhruba poloviční.

Během provozu termočlánky stárnou – dochází k jejich dekalibraci, tj. odchylce od původní závislosti napětí na teplotě.

- **Přívod** – je-li použito nevhodné kompenzační vedení (například pro jiný typ termočlánku), nebo prochází oblastmi mimo deklarovaný teplotní rozsah (obvykle  $0^{\circ}\text{C}$  až  $200^{\circ}\text{C}$ ). Pro nejvyšší dosažitelnou přesnost je nejlépe přívod vyloučit, tj. připojit termočlánek přímo do přístroje. Při měření přístrojem s napěťovým vstupem nemá ohmický odpor vedení vliv. [1]

**Měřicí přístroj** – chyba měření závisí na konkrétním typu přístroje. Pokud je řádně provedena teplotní kompenzace vstupních svorek, je chyba měřicího přístroje podstatně menší než chyba vlastního termočlánku. Přístroje s displejem zobrazují obvykle na celé stupně. Vyšší rozlišovací schopnost neznamena vyšší absolutní přesnost měření. Je však užitečná při regulaci a sledování trendu teploty, tj. jestli teplota stoupá nebo klesá. [1]

Hlavní poruchy, které mohou nastat při měření termočlánekem:

- **Poruchy vyhodnocovacího přístroje**

- **Přerušeni/rozpojení** okruhu – tento typ poruchy lze detekovat nejsnáze. Detekční obvod je standardní součástí měřicích přístrojů. [1]

- **Zkrat** na vedení – dojde k vzájemnému dotyku obou větví vedení. Potom naměřená teplota odpovídá teplotě v bodě zkratu. Obvykle lze odhalit poměrně snadno, neboť očekávaná a naměřená hodnota se diametrálně liší [1].

- **Dekalibrace** vlastního termočlánku – závažná porucha. Nachází-li se termočlánekový vodič v nevhodném prostředí bez ochrany, dochází ke změnám v jeho složení. Naměřený údaj vypadá v pořádku (například pec topí a teplota stoupá), ve skutečnosti se může lišit o desítky až stovky stupňů. Protože termočlánekové napětí není generováno v místě spoje, ale vzniká na vedení v oblasti teplotního spádu, je potřeba udržovat v pořádku nejen měrný konec, ale i celý vodič až do oblasti „pokoje“ teploty [1].

## 4. Druhy kalibrace

Přístroje pro kalibraci lze rozdělit podle účelu:

- **Kalibrace** jiných měřicích přístrojů – výstup přístroje simuluje chování skutečného termočlánku. Výsledkem měření je kalibrační křivka přístroje nebo v jednodušších případech pouze offset a zesílení (hromadná výroba).

- **Kalibrace** vlastních **termočlánků** – obsahují suchou nebo kapalnou lázeň o nastavitelné teplotě, v níž se nachází testovaný termočlánek, a přesný milivoltmetr. Výsledkem měření je kalibrační křivka daného termočlánku.

- **Kalibrace převodníků** – přístroj na svých výstupních svorkách generuje termočlánekové napětí, které se zavádí do vstupu kalibrovaného převodníku. Druhé svorky přístroje jsou měřicí – měří se výstup z kalibrovaného převodníku. Výstup z převodníku může být typu proudová smyčka, napětí, kmitočet a podobně. Kalibrovací zařízení musí umět tento signál vyhodnotit.

Výsledkem měření je kalibrační křivka nebo pouze zjištění offsetu a zesílení měřeného převodníku (hromadná výroba).

#### **4.1 Kalibrace termoelektrických snímačů**

Termoelektrické snímače teploty se kalibrují srovnávací (komparační) metodou v laboratořích, na k tomuto účelu schválených pracovištích. Srovnávací metodu lze využít i přímo v daném provozu. Nic méně přesnost, která je dosažená v provozech je sice nižší, než kalibrace provedená v laboratořích ale za to velice účelná. Samotná kalibrace se provádí odporovými a termoelektrickými etanolovými teploměry v lázních, které jsou k tomuto čelu schváleny CMI. Samotné vyhodnocení je prováděno multimetry. Každý takto kalibrovaný termočlánek je opatřen kalibrační známkou. Provozní podmínky termočlánku snižují jeho měřicí přesnost a proto je nutné termočlánky čas od času znova kalibrovat. Doba mezi kalibracemi záleží právě na provozních podmínkách. Kalibrací se také ověřuje a zvyšuje přesnost již používaných termočlánku. To znamená, že se zjistí jejich skutečná charakteristika a porovná se s normovanými hodnotami.

## 5. Požadavky pro zhotovení zařízení

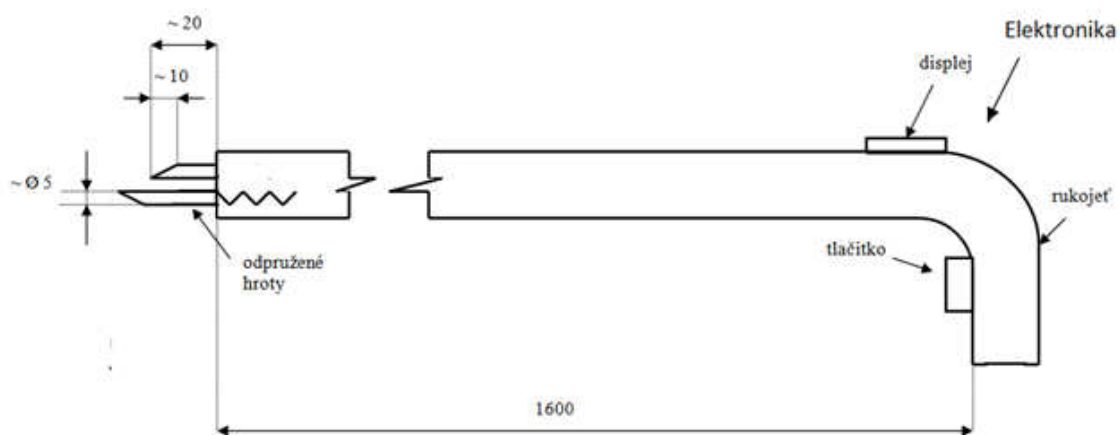
Na základě odborné konzultace v sídle firmy AL INVEST Břidličná, a.s. byly vzneseny požadavky na mechanickou konstrukci celého systému. Při návrhu měřicí elektroniky nebyla konzultantem zavedena žádná omezení. Firmou byl poskytnut soubor technických požadavků na zhotovení ručního dotykového měřicího zařízení, jejichž důležité části jsou vypsány v následujících bodech:

- Nefrézovaná licí kůra bloků vykazuje nerovnosti cca 5 mm, proto musí být hroty, a to každý zvlášť, odpružené – zdvih odpružení – cca. 10 mm.
- Během ohřevu je teplota snímána obsluhou, která přes otvory ve stěnách pece přiloží měřicí hroty na boky bloků.
- Dotykový měřič je v peci vystaven při měření velké tepelné zátěži, pracovní teplota se pohybuje od 50 do 650°C. Měřič je v blízkosti hořáků
- Rozsah na displeji 20 – 700°C, rozlišitelnost údaje na desetiny stupně. Displej umístit v horní části, aby na něj obsluha viděla (na krokové peci jsou dvířka v úrovni pod pasem obsluhy, u válečkové pece v úrovni pasu obsluhy).
- Měření může probíhat dvojím způsobem:
  - po sepnutí tlačítka a přiložení měřicích hrotů na blok je nutné počkat, až se teplota a po puštění tlačítka zůstane hodnota zobrazena na displeji
  - po přiložení měřicích hrotů na blok je nutné počkat, až se teplota ustálí a po sepnutí tlačítka se dosažená teplota zobrazí na displeji.
- Displej zásadně jako součást rukojeti.
- Přesnost měření +/- 1 °C od etalonu.

## 6. Návrh měřicího zařízení

V této kapitole bude popsáno konstrukční řešení, popis měřicí části a její jednotlivé komponenty. Navrhnuté měřicí zařízení je složeno z měřicí elektroniky, displeje pro zobrazení naměřené hodnoty a konstrukce, v které jsou jednotlivé komponenty upevněny. Při návrhu tohoto měřicího zařízení bylo nutno počítat s požadovanými technickými parametry, které jsou uvedeny v kapitole 5.

### 6.1 Konstrukce



Obr. 6.1: konstrukce ručního měřicího zařízení

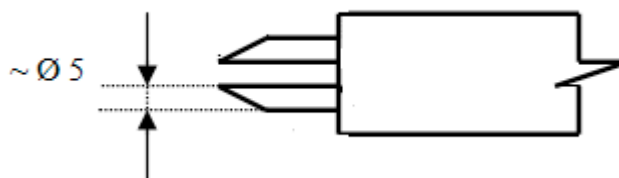
Na obrázku 6.1 je znázorněná konstrukce měřicího zařízení. Jak je z obrázku patrné, měřicí hroty jsou oddělené. Toto řešení bylo zvoleno, protože má mnohem lepší mechanickou odolnost a životnost, než klasický termočlánek, s jedním měřicím hrotem. Součástí konstrukce je rukojeť, krabička s měřicí elektronikou a displej pro zobrazení naměřené teploty. Pozice krabičky s elektronikou je situována v zadní části ručního měřicího zařízení a proto není potřeba ji nijak tepelně izolovat. Při přibližné délce měřicího zařízení 1600mm nedochází k velké tepelné zátěži na elektronickou část. Tlačítko „HOLD“, které je určeno pro zastavení hodnoty měnící se na displeji je situováno v oblasti rukojeti pro snadnou manipulaci. Do konstrukce je zabudován termočlánek, který je veden v ochranné jímce z keramiky. Pro lepší tepelnou odolnost je možno keramickou jímku dále upravit.

## 6.2 Možnosti realizace měřicího hrotu

V rámci konstrukčního návrhu je poměrně důležité zabývat se mechanickým provedením měřicích hrotů. To je nutné hlavně z toho důvodu, že nefrézovaná licí kůra ingotů vykazuje nerovnosti o velikosti až cca. 5mm.

### Hroty bez odpružení

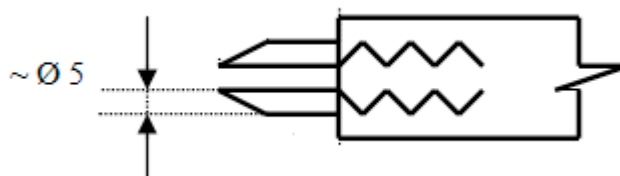
Hroty řešené konstrukčně bez jakéhokoli odpružení znázorněné na obrázku 6.2 by do měření mohly zanášet chybu a to tak, že by nemuselo dojít k dokonalému propojení mezi měřicími hroty a bramou. Mohlo by se tedy stát, že stejná délka hrotů by na nerovnostech bramy způsobila to, že jeden hrot by byl sice přitlačen správně ale druhý ne.



Obr. 6.2: neodpružené měřicí hroty

### Hroty odpružené

Při této variantě hroty zaručují spolehlivý kontakt s měřenou bramou. Obrázek 6.3 znázorňuje odpružení obou hrotů.

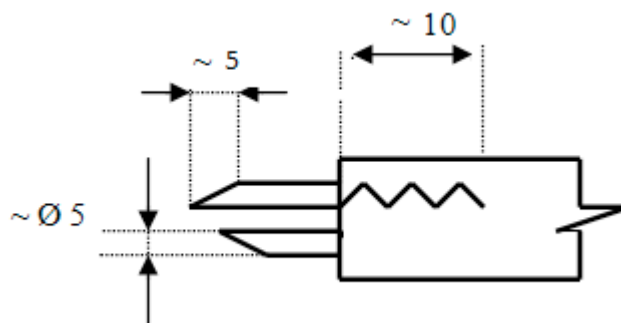


Obr. 6.3: odpružení obou měřicích hrotů

### Odpružený pouze jeden hrot

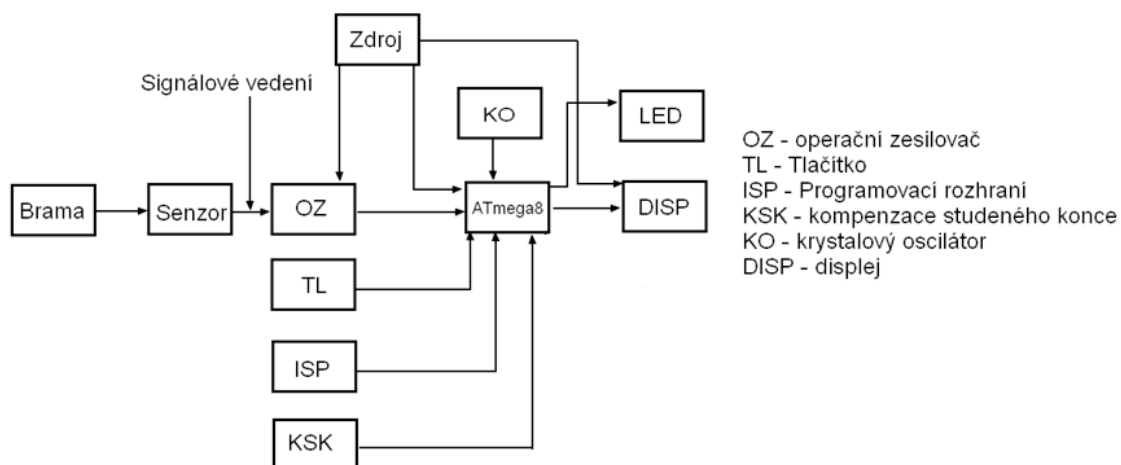
Varianta s odpružením pouze jednoho hrotu, má výhodu ve snadnějším konstrukčním návrhu. Jestli-že bude jeden měřicí hrot řešen pevnou konstrukcí a druhý konstrukcí odpruženou je potřeba zajistit, aby měřicí hrot odpružený přesahoval (cca. 5mm) měřicí hrot pevný a to proto, aby se po přitlačení pevného měřicího hrotu mohl odpružený přizpůsobit. Rozsah odpružení hrotu by měl být cca. 10mm. Obrázek 6.4 znázorňuje grafické zobrazení měřicích hrotů s jedním odpruženým hrotem.





Obr. 6.4: měřicí hroty s jedním odpruženým hrotem

### 6.3 Blokové schéma navrhovaného řešení



Popis jednotlivých bloků:

**Brama** - Hliníkový blok ohříváný v plynové peci na požadovanou teplotu.

**Senzor** - Termočlánek typu K využívá termoelektrického jevu a převádí teplotu na termoelektrické napětí.

**OZ** - Operační zesilovač potřebný k zesílení malého termoelektrického napětí.

**TL** - Tlačítko, které po stisknutí zastaví zobrazovanou hodnotu na displeji.

**ISP** - Programovací rozhraní, které je určeno pro nahrání řídicího programu do paměti mikrokontroléru.

**KSK** - Kompenzace studeného konce termočlánu je řešena pomocí inteligentního čidla DS18B20.

**KO** - Krystalový oscilátor určuje rychlost mikrokontroléru

**Zdroj** - Jako zdroj jsou použity dvě 9V baterie. Pomocí nich je vytvořeno souměrné napětí  $\pm 9V$  potřebné pro operační zesilovač. Jedna z baterií je pak ještě připojena na integrovaný stabilizátor typu 7805, z jehož výstupů jsou napájeny všechny ostatní obvody.

**LED** - SMD diody připojené na jeden z portů, využívané hlavně při programování a odladování programů.

**DISP** – Displej slouží pro zobrazování měřené teploty.

**ATmega8** - Řídicí mikrokontrolér zajišťující řízení celého přípravku.

## 6.4 *Hardware*

Řídicí jednotka mikrokontrolér ATmega8-16AU je komponenta, která se stará o řízení celého přípravku. Pro nahrání programu do její paměti je třeba využít programátor (komponenta zprostředkovávající přenos dat mezi mikrokontrolérem a počítačem pomocí USB programovacího rozhraní).

Rychlost mikrokontroléru je odvozena od externího krystalu o hodnotě 16MHz. Cely přípravek je napájen bateriemi. Napětí z jedné baterie je stabilizováno integrovaným stabilizátorem typu 7805 na napětí 5 V. Stabilizátor byl doplněn o chladič odvádějící ztrátové teplo. Napětí 5V, je dále použito pro napájení ostatních částí celého systému jako jsou mikrokontrolér a inteligentní teplotní čidlo typu DS18B20 určené ke kompenzaci studeného konce termočlánku, apod. Signál z termočlánku je přiveden na vstupy operačního zesilovače zapojeného v diferenčním zapojení. Zesilovač spolu se zpětnovazebními odpory byl situován na samostatné desce plošného spoje. Zpětnovazební odpory respektive jejich hodnoty byly navrženy tak, aby bylo maximální napětí termočlánku převedeno na hodnotu 5V což je maximální hodnota napětí použitého A/D převodníku integrovaného v řídicím mikrokontroléru ATmega8. Na vstup hlavní desky, kde je přiveden výstupní signál operačního zesilovače, byl přidán rezistor o hodnotě  $1k\Omega$  a zenerova dioda o hodnotě průrazného napětí 5,6V. Tak bylo zajištěno, aby se na vstup mikrokontroléru nikdy nedostalo napětí větší než 5,6V. Tento ochranný prvek zde byl použit z toho důvodu, že použitý operační zesilovač je napájen souměrným napětím  $\pm 9V$ . Operační zesilovač typu OP07 byl použit z toho důvodu, že je to nízkošumový zesilovač s velmi nízkým vstupním napěťovým offsetem (dosahuje hodnoty maximálně  $25\mu V$ ). Tento zesilovač je často využíván v průmyslových podmínkách. Na další vstupy mikrokontroléru je napojeno tlačítko pro funkci zastavení měřené hodnoty tzv. HOLD. Další výstupní port mikrokontroléru je použit na komunikaci s LCD displejem. Mikrokontrolér byl doplněn o programovací ISP rozhraní. Celý přípravek byl osazen SMD součástkami na dvou jednotlivých deskách plošných spojů o velikosti desky 8,5x7 cm a 6x3 cm. Desky byly doplněny o díry pro upevnění ke krabici, ve které bude celý hardware umístěn. Tlačítko pro funkci HOLD je vyvedené z krabičky ven pro snadnější manipulaci. To samé platí o displeji, který bude umístěn na čelní straně krabičky.

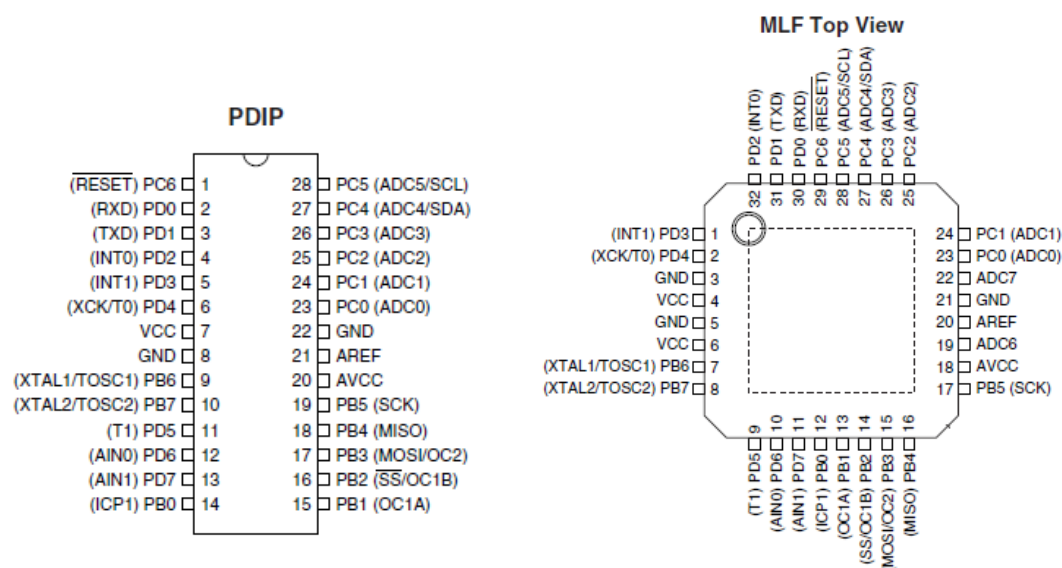
## 6.5 *Mikrokontrolér*

Volba mikrokontroléru je díky široké nabídce na trhu velice rozmanitá. Velké firmy jako Intel Corporation, Microchip Technology Inc., Atmel Corporation nebo ON Semiconductor nabízí

velké množství variant a provedení mikrokontrolérů. V této bakalářské práci je použit mikrokontrolér ATmega8 - 16AU. [6]

Řízení displeje, A/D převod a linearizace je provedeno pomocí mikrokontroléru ATmega8 od firmy Atmel. Tento mikrokontrolér má šesti kanálový desetibitový A/D převodník s postupnou aproximací, dva osmibitové čítače, jeden šestnáctibitový čítač, vnitřní oscilátor s nastavitelnou frekvencí až do 16 MHz, tři osmibitové I/O brány a SPI rozhraní. Program je vytvořen v prostředí CodeVision AVR a nahrán do procesoru pomocí USB programátoru.

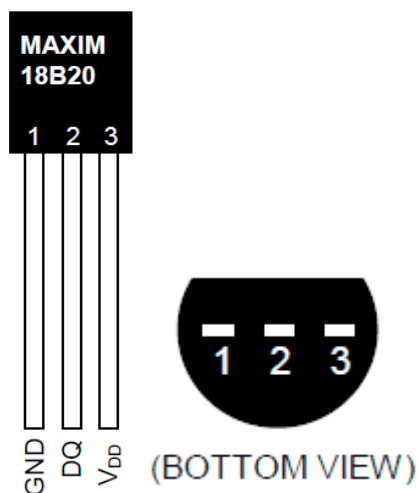
Vstupy mikrokontroléru byly využity téměř všechny. Piny 23, 24, 25, 26, 27, 28, 19 slouží pro připojení LCD displeje. Piny 16, 17, 18 jsou připojeny na programovací rozhraní ISP. Na vstup AVCC je připojeno napájecí napětí přes LC člen. Na vstup AREF se přivádí referenční napětí. Zapojení dalších pinů je zobrazeno v příloze na schématu hlavní desky.



Obr.6.5: uspořádání pinů na mikrokontroléru. [6]

## 6.6 Teplotní čidlo DS18B20

Obvod DS18B20 je digitální teplotní senzor, nejčastěji používaný v pouzdře TO-92 se třemi vývody. Senzor s nadřazeným systémem komunikuje pomocí sběrnice 1-Wire™. [7] Rozlišení teplotního senzoru je 12b, tedy 0,0625°C. Přesnost je 0,5°C v teplotním rozsahu -10°C až +85°C a 2°C v celém teplotním rozsahu obvodu, tedy -55°C až +125°C. Toto teplotní čidlo slouží pro kompenzaci studeného konce termočládku. Toho je dosaženo tak, že je umístěno v blízkosti studeného konce termočládku a v podstatě snímá jeho teplotu. Teplota zjištěná tímto čidlem je připočtena k teplotnímu rozdílu měřícího a studeného konce termočládku a tak je zajištěna kompenzace chyby, kterou do měřícího procesu zavádí studený konec termočládku.



Obr. 6.5: teplotní čidlo DS18B20 [7]

## 6.7 Displej

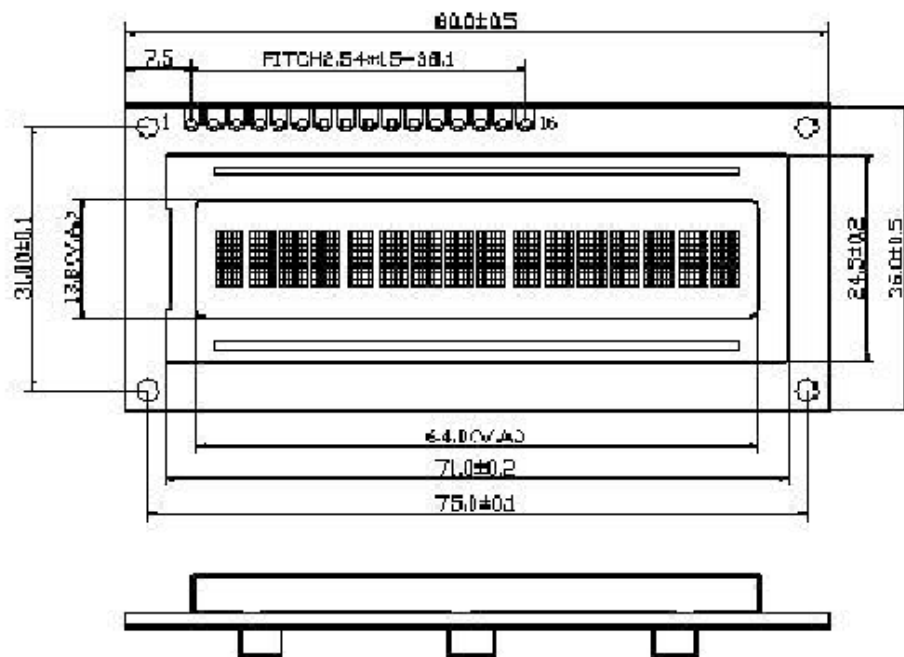
Displej MC1601A-SYL/H v tomto měřicím zařízení slouží pro zobrazování naměřené hodnoty.

Maximální pracovní teplota použitého displeje se pohybuje v intervalu -20 až + 70 °C. Barva podsvícení je žluto-zelená. Tento displej obsahuje řadič/ovladač typu S6A0069 5x8 s kurzorovými tečkami. Je to jednořádkový displej, na kterém lze zobrazit 16 znaků.



Obr. 6.7: displej MC1601A-SYL-H [8]

Na obrázku 6.8 jsou znázorněny rozměry použitého displeje.



Obr. 6.8: rozměry displeje [8]

## 7. Popis softwaru

Na začátku vytvořeného programu byly uvedeny reference na použité knihovny. Funkce pro obsluhu LCD displeje obsahuje knihovna ATLCDTX2.h. Poté byly v programu deklarovány proměnné tepl, konst, pocitadlo, port. Tyto proměnné jsou dále využívány v obslužné rutině přerušení od A/D převodníku. Poté program přechází do hlavní smyčky. Na začátku hlavní smyčky jsou nejprve definovány počáteční hodnoty všech užívaných portů a u některých z nich jsou zapnuty PULL-UP rezistory pomocí registru DDRx. Dále jsou v programu nastaveny řídicí registry A/D převodníku a je povolen přerušovací systém. Následně je provedena inicializace LCD displeje a pomocí příkazů LCDpozive a LCDdata je vypsán nápis T= na pozicích 0 – 1. Na pozici 12, 13 je vypsáno značení jednotky pro stupeň celsiův (°C) a program přechází do nekonečné smyčky WHILE, v níž je zjišťována teplota studeného konce pomocí čidla DS18B20 a k němu dodané knihovny. Pro zjišťování teploty je použita funkce therm\_read\_temperature2(dek, des), jenž vrací změřenou hodnotu pomocí dvou proměnných použitých jako pointer. V první z nich je uložena dekadická část čísla a v druhé část desetinná. Další funkce jsou provedeny až po přerušení, vyvolané dokončením konverze A/D převodníku a spuštěním obslužné rutiny tohoto přerušení. Pokud není stisknuto tlačítko HOLD měřená hodnota na displeji se neustále mění. Pro lepší čitelnost měřené hodnoty je tato hodnota aktualizována vždy po 900 cyklech přerušení. Pro čítání těchto cyklů je použita proměnná pocitadlo. Po uplynutí 900 cyklů je splněna podmínka funkce IF a hodnota A/D převodníku je

převezená do proměnné tepl. Tato hodnota je dále vynásobená proměnnou konst (tím je zajištěn přepočet hodnoty A/D převodníku na odpovídající hodnotu teploty). Přesná hodnota proměnné konst bude nastavena až po fázi testování. Následně je hodnota teploty zobrazena na LCD displeji pomocí funkce sprintf a funkce LCdata.

## **7.1 AVR studio 4.12**

AVR Studio umožňuje vytváření programových projektů, které zapouzdřují jeho jednotlivé části (soubory s programovými kódy, informace o projektu, textové soubory). Toto je velmi účelné při tvorbě složitějších projektů. [9] Pro napsání řídicího programu byl použit programovací jazyk C. Jazyk C je vyšší programovací jazyk a byl v této práci upřednostněn před assemblerem z důvodů vyšší přehlednosti a zjednodušení práce při programování.

Vývojové prostředí obsahuje textový editor, ve kterém se vytváří programový kód. Editor automaticky rozeznává části kódu (instrukce, komentář, čísla atd.) a barevně jej zvýrazňuje pro zvýšení přehlednosti. Okno editoru je používáno i při ladění kódu, kdy je možné program trasovat a přidávat do něj break pointy.

AVR studio také umožňuje ladění externích kódů, takže je možné využít jeho schopností proladění již zkompileovaných programů např. z jiných vývojových prostředí. Zpracovává formáty UBROF (IAR), Noric (AVR Assembler), COFF (GCC, ImageCraft, Codevision, ELAB, atd.) a Intel-HEX.

Kromě editace a ladění programu umožňuje prostředí i samotné programování mikrokontroléru. Podporovány jsou systémy ICE50, JTAGICE, STK500/5001 a AVRISP. Vývojové prostředí je velmi přehledné a účelné a velmi zvyšuje pracovní komfort a tím také pracovní výkonnost při tvorbě a ladění projektu. [9]

## **7.2 Funkce**

V této kapitole bude popsána funkce měřicího zařízení jako celku. Hlavním úkolem je tedy změřit teplotu bloků (bram) v plynové peci za průběžného ohřívání. Pro začátek měření je potřeba připojit měřicí sondu k řídicí části, pokud je odpojena. Po připojení napájení je možno začít se samotným měřením. Po přiložení měřicího hrotu na měřený blok obsluha počká, až se teplota ustálí. Jelikož by hodnota, která byla naměřena zmizela z displeje po odebrání měřicího zařízení, je součástí zařízení tlačítko HOLD. Tento prvek slouží k zastavení a uložení hodnoty na displeji, aby se obsluha mohla podívat, jakou hodnotu naměřila. Jak již bylo řečeno, výstupní napětí termočlánků je velice malé, řádově jednotky až desítky mikrovoltů a proto je signál přiveden na vstup operačního zesilovače zapojeného v diferenčním zapojení. Zpětnovazební odpory jsou navrženy tak, aby bylo maximální napětí termočlánku převedeno na hodnotu 5V což je maximální hodnota napětí použitého A/D převodníku integrovaného v řídicím mikrokontroléru ATmega8. Tento mikrokontrolér obsahuje A/D převodník s postupnou

aproximací, který se stará o převod napětí z operačního zesilovače na binární číslo, aby ho mikrokontrolér mohl dále zpracovat. K dalším výstupům mikrokontroléru jsou přivedeny ještě další komponenty, jako je teplotní čidlo pro kompenzaci studeného konce termočlánku. Jak již bylo výše napsáno na vstup mikrokontroléru je přivedeno tlačítko na funkci HOLD, napájení a tlačítko pro reset. Další výstupní port mikrokontroléru je použit na napájení a komunikaci s LCD displejem. Mikrokontrolér byl doplněn o programovací ISP rozhraní.

## **8. Oživení, ověření funkce**

### **Oživení desky plošných spojů a ověření funkce**

Při ožívování byl použit klasický multimetr. Nejprve byl proměřen ohmmetrem odpor mezi napájením a zemí. Dále byly proměřeny veškeré součástky, pro ujištění se, že deska není někde ve zkratu. Poté bylo ohmmetrem proměřeno, zdali je ke všem aktivním součástkám připojeno napájení a zem. Po ověření funkčnosti, byla deska připojena na napájení o velikosti  $\pm 9V$  pomocí dvou baterií. Bylo změřeno napětí za stabilizátorem, hodnota napětí byla cca. 5 V. Dále byla provedena kontrola, zda je toto stabilizované napětí přivedeno na všechny aktivní součástky.

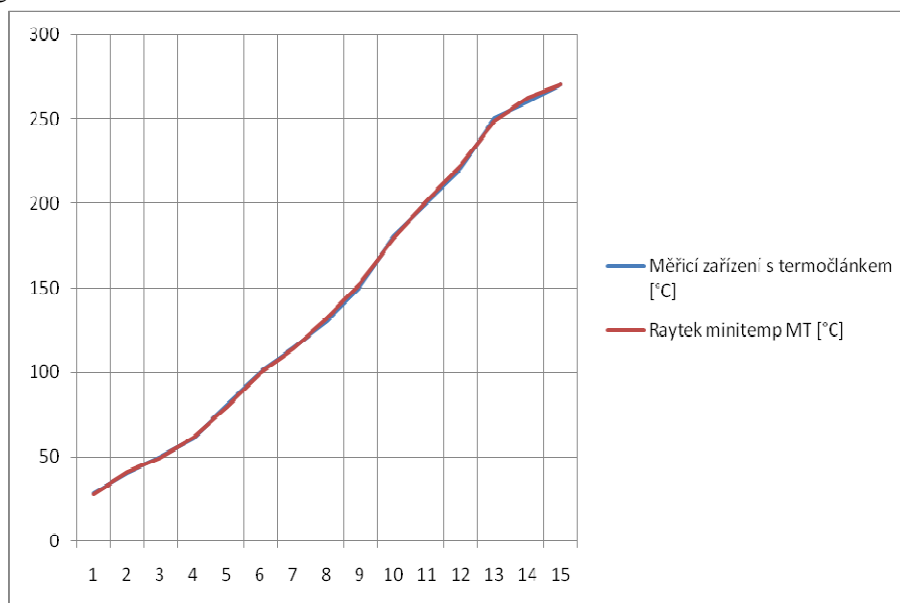
### **Ověření funkce**

Při ověřování funkce nebyla použita termočláňková teplotní sonda typu K GD700. Pro ověření správnosti naměřených údajů byl použit bezdotykový infračervený laserový teploměr Raytek MiniTemp MT1. Měření probíhalo v domácích podmínkách za pomoci elektrického sporáku, kdy byl měřený předmět ohříván až na teplotu 270 °C a při ochlazování byla snímána teplota jak bezdotykovým teploměrem, tak termočláňkem. Výsledky měření byly zapsány do tabulky 8.1 viz. níže.

Poř. Č	Měřicí zařízení s termočlánkem [°C]	Raytek minitemp MT [°C]
1.	28,4375	27,5
2.	40,5625	41
3.	50,0615	49,5
4.	60,9375	61,5
5.	80,8125	79,5
6.	100,1875	99,5
7.	114,625	114
8.	130,3125	132
9.	150,8125	152,5
10.	180,5	179
11.	200,9375	202,5
12.	220,75	222,5
13.	250,625	248,5
14.	260,3125	262,7
15.	270,375	270,5

*Tab.8.1: Naměřené hodnoty kontrolního měření*

Z naměřených hodnot je patrné, že v některých případech se hodnoty liší i o 2 °C. Toto může být zapříčiněno mnoha rušivými vlivy působící na měřicí přípravek ale také nepřesností bezdotykového teploměru. U tohoto typu teploměru závisí správnost měřeného údaje jak na vzdálenosti od měřeného předmětu, tak i na povrchové úpravě měřeného povrchu. V podstatě si ale naměřené hodnoty obou přístrojů odpovídají a nedošlo k závažnějším odchylkám jak je patrné z grafu uvedeného níže na obrázku 8.1.



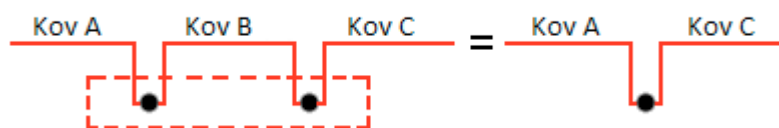
*Obr.8.1: Grafické zobrazení naměřených údajů*



Z grafu je vidět, že vynesené křivky nejsou zcela lineární a to je zapříčiněno tím, že při snímání nebyl dodržen shodný krok. Měření bylo prováděno do teploty 270 °C což je maximální teplota měřitelná teploměrem Raytek Minitemp MT. Křivky vynesené do grafu se téměř kryjí, a proto lze považovat vyrobený přípravek za funkční. Měření bylo zdokumentováno a fotografie umístěna do příloh.

Ke kalibraci měřicího přístroje by měl být použit přesný referenční teploměr a celé měření by mělo být provedeno v laboratorních podmínkách s použitím kalibrované vyhřívací komory.

Měřicí zařízení, jak již bylo popsáno výše, bylo testováno pomocí termočlánekové sondy GD700. Tato měřicí sonda má jeden měřicí hrot, který se vpichuje do měřeného materiálu. V současné době je v AL INVEST Břidličná používán měřicí hrot, který je tvořen dvěma měřicími hroty a to tak, že každý hrot je jeden kov termočlánek. Jak je patrné z obrázku 8.2 nemá konstrukční řešení vliv na samotné měření. V přední části vyhodnocovací elektroniky je vyveden Miniaturní termočlánekový konektor s vestavěným úchytem. K tomuto konektoru lze připojit termočláneková sonda jak s již zmíněným jedním měřicím hrotem, tak konstrukčně upravená sonda s dvěma měřicími hroty. Nelze však připojit libovolnou sondu jakéhokoliv typu, neboť konektor je typu K.



Obr.8.2: Zapojení měřicích hrotů

## 9. Návrh dalšího možného řešení

V této kapitole zabývající se návrhem jiného možného řešení, bude popsáno měřicí zařízení, které by bylo plně automatizováno. Hlavním přínosem by bylo odstranění chyby lidského faktoru. Zamýšlené zařízení by bylo instalováno pod válečkovým dopravníkem, po kterém jsou dopravovány bramy. Jednalo by se o modul tepelně odolného boxu, v kterém by byla umístěna měřicí sonda. Při zahájení měření by došlo k otevření poklopu boxu servo-mechanismu a vysunutí měřicího hrotu termočláneků připojeného na paralelogram. Paralelogram poháněný servo-mechanismem by zajišťoval vždy konstantní sílu přitlaku měřicího hrotu na bramu. Informace vydané termočlánekem by byly vyhodnocovány pomocí PLC a přenášeny pomocí bezdrátové technologie do velína kde by docházelo ke zpracování měřených dat. PLC by dále mohlo ovládat také válečkový dopravník a při nevyhovující teplotě pro válcování by buďto bramu nechávalo zchladnout nebo při nedostatečném prohřátí vrátilo zpět do pece.

## 10. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo vyrobit elektronický přípravek pro měření teploty pomocí termočlánekové sondy. Navrhnutý přípravek se mi povedlo sestrojít, oživit a uvést do chodu. Pro otestování přípravku byla použita termočláneková sonda získaná u firmy Jakar Electronics, spol. s r.o. jenž má téměř shodnou funkci jako termočláneková sonda s dvěma hroty používaná firmou AL INVEST Břidličná, a.s. Po připojení tohoto termočláneku by bylo nutné celý přístroj kalibrovat. Návrh a výroba nového hrotu tematicky nespadá do mnou studovaného oboru a je záležitostí spíše nauky o materiálech.

Ohledně problematiky a řešení realizace ručního měřicího zařízení pro měření teploty brám v procesu válcování jsem navštívil firmu AL INVEST Břidličná, a.s. Následně jsem se seznámil se stávajícím řešením a dále prokonzultoval požadavky na zhotovení nového měřicího zařízení. Nejasnosti ohledně mého řešení jsem konzultoval telefonicky s tamním technologem, který mi poskytl cenné rady, které mi pomohly v dalším postupu.

Při realizaci jednotlivých částí se projevilo několik nedostatků a to hlavně v elektronické části. Chyby v elektronické části byly řešeny ruční opravou přímo na DPS. Pro další verze je možné zrealizovat mnoho vylepšení jak už v části elektronické tak i mechanické.

Tato bakalářská práce by mohla sloužit i jako dobrý studijní materiál pro další studenty, kteří se zabývají měřením teploty pomocí termočláneku.

## 11. Použitá literatura

- [1] CHVÁLA, B. - MATIČKA, R. - TALÁCKO, J. [i]Průmyslové roboty a manipulátory.[/i] 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 275 s. ISBN 80-03-00361-X.
- [2] ZEHNULA, K. Snímače neelektrických veličin. 2.vyd. Praha: SNTL- Nakladatelství technické literatury, 1983. 371 s.
- [3] . ĎAĎO, S. – KRIEDL, M. Senzory a měřicí obvody. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. 314 s. ISBN 80-01-02057-6(brož.).
- [4] VLACH, J. – VALACHOVÁ, v. Počítačová rozhraní, přenos dat a řídicí systémy. 2. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2002. 176 s. ISBN 9788073000103
- [5] Katalogy firmy OMEGA
- [6] ATmega 8-16AU [online]. revision 16.4.2011 [citováno dne 16.4.2011]<[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2486.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf)>
- [7] Teplotní čidlo DS18B20 [online]. revision 16.4.2011 [citováno dne 16.4.2011]<<http://mexlewiki.hs-heilbronn.de/UserFiles/File/DS18B20.pdf>>
- [8] Display MC1601A-SYL/H [online]. revision 16.4.2011 [citováno dne 16.4.2011]<[http://www.gme.cz/\\_dokumentace/dokumenty/513/513-082/dsh.513-082.1.pdf](http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/513/513-082/dsh.513-082.1.pdf)>
- [9] MATOUŠEK, David. *C pro mikrokontroléry ATMEL AT89S52*. 2007. Praha: BEN, 2007. 240 s. Dostupné z WWW: <<http://shop.ben.cz/121280>>. ISBN 978-80-7300-215-2.
- [10] KLEČKA, Martin. Měření teploty. In PETRÁNKOVÁ, Zuzana. *Měření teploty* [online]. vyd. 1. Plzeň : [s.n.], 2007, 2007 [cit. 2011-04-26]. Dostupné z WWW: <<http://stag.zcu.cz/fel/kae/+sac/final.pdf>>.
- [11] USB programátor [online]. revision 16.4.2011 [citováno dne 16.4.2011]<<http://www.tuxgraphic.org/electronics/200510/article05101.shtml>>
- [12] Zapojení termočlánků [online]. revision 16.4.2011 [citováno dne 16.4.2011] <<http://www.kst.tul.cz/podklady/experimentalnimetody/prednasky/prednaska9.pdf>>
- [13] Druhy termočlánků [online]. revision 6.5.2011 [citováno dne 6.5.2011] <<http://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple>>
- [14] Riedl, M.: Měření teploty - senzory a měřicí obvody. BEN – technická literatura Praha, 2005
- [15] Měření teploty [online]. Revision 21.7.2011 [citováno dne 21.7.2011] <<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART1149-Mereni-teploty-v-prumyslu.html>>

## 12. Seznam příloh

### Obsah

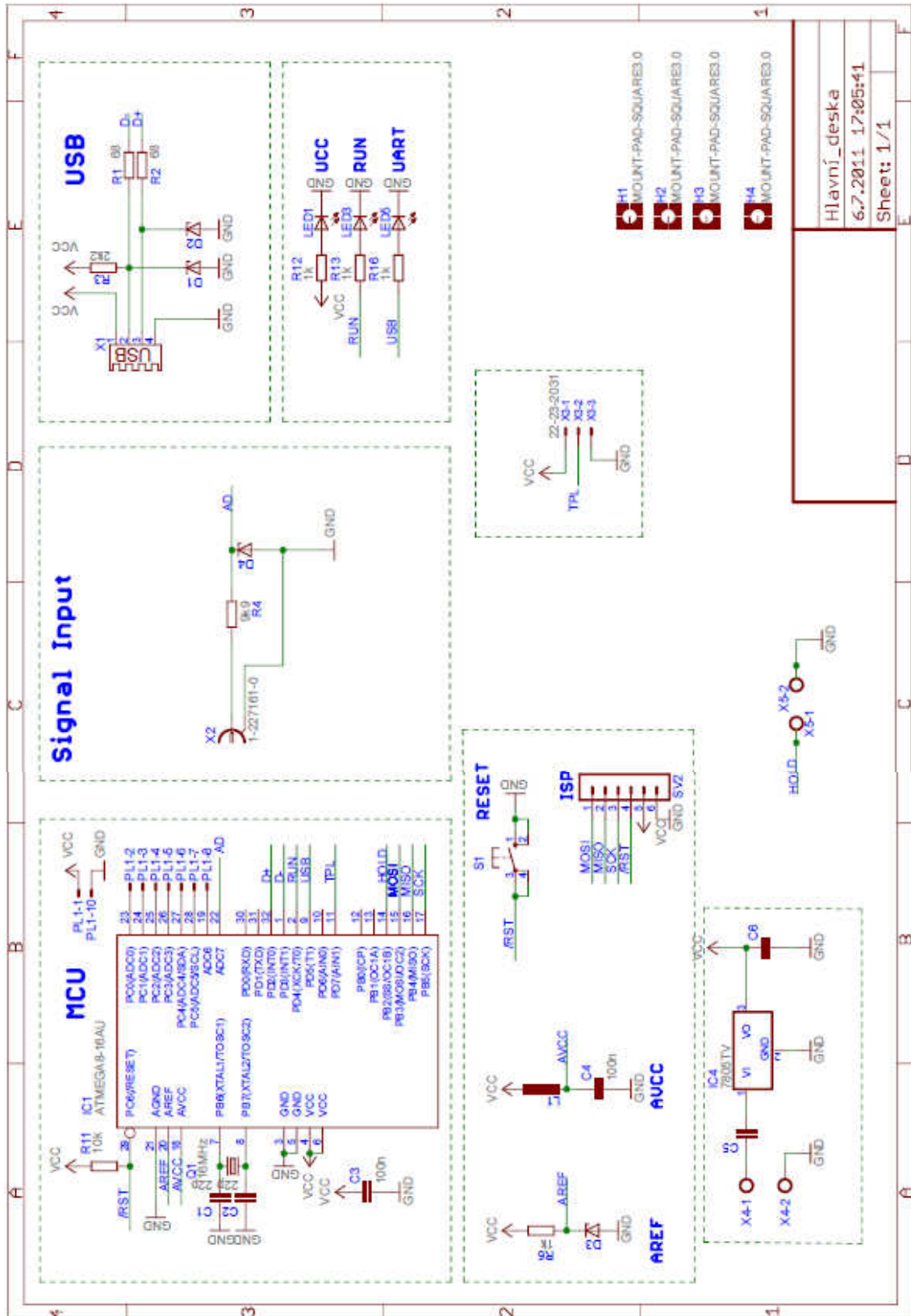
A.	Schéma hlavní desky:.....	I
B.	Schéma zesilovače: .....	IV
C.	Náhled programátoru: .....	V
D.	Foto přístroje .....	VII
E.	Fotodokumentace ověření funkce .....	IX
F.	Foto plynové válečkové pece .....	IX
G.	Dvířka určená pro měření teploty bram.....	X

### Obsah CD

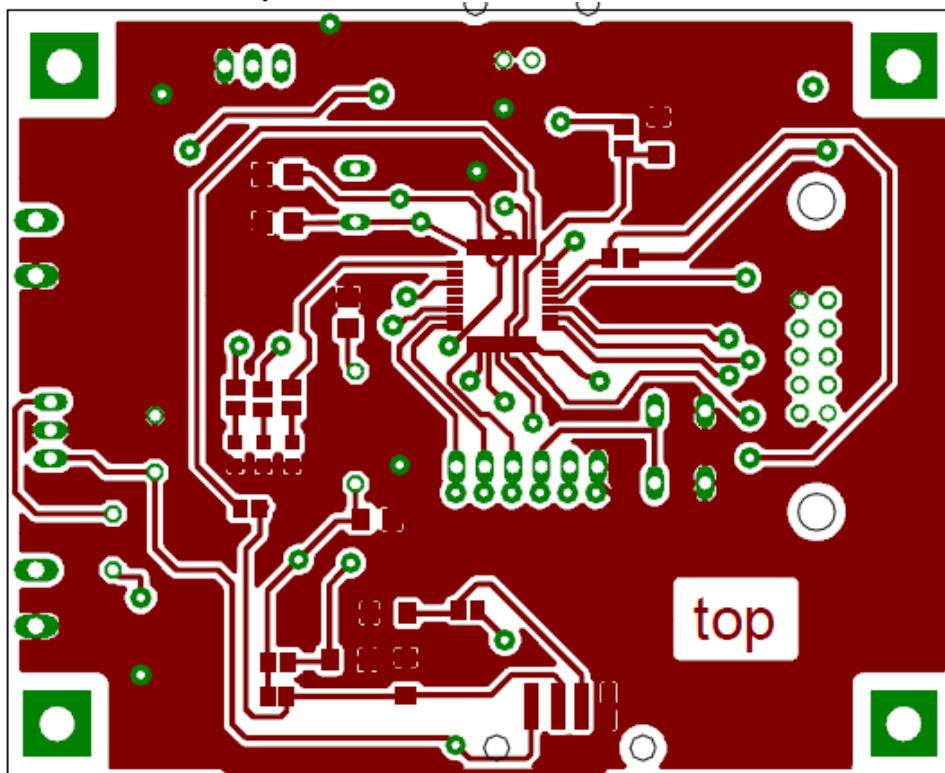
Textová dokumentace  
Návrh schémat a DPS v programu Eagle  
Vyvinutý program  
Fotodokumentace

## 13. Přílohy

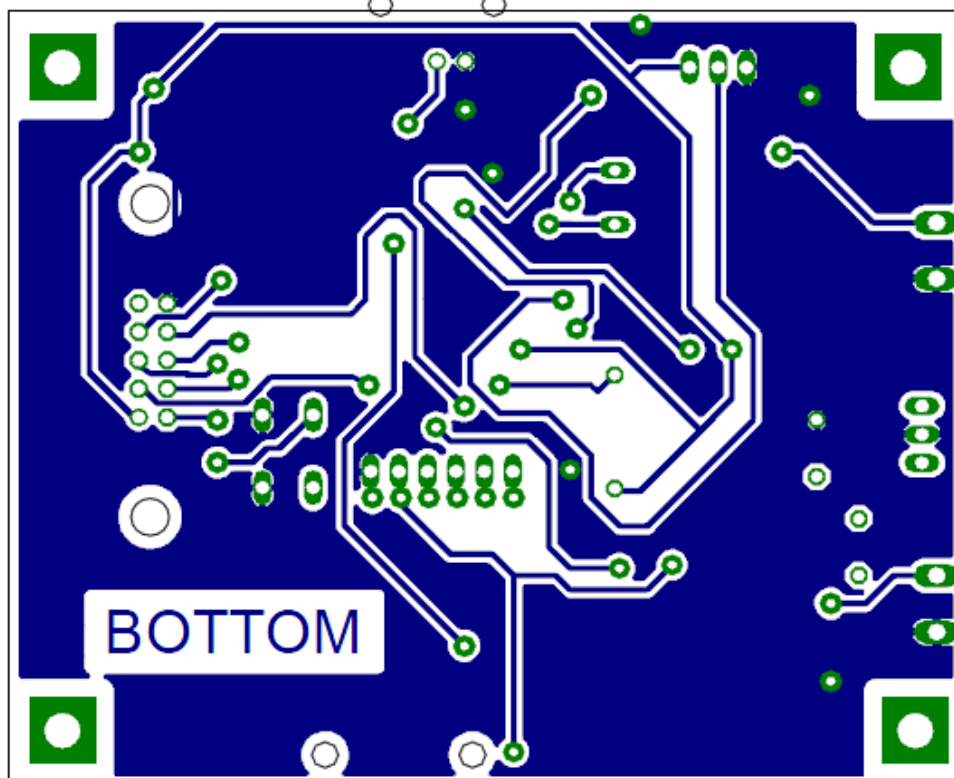
### A. Schéma hlavní desky:



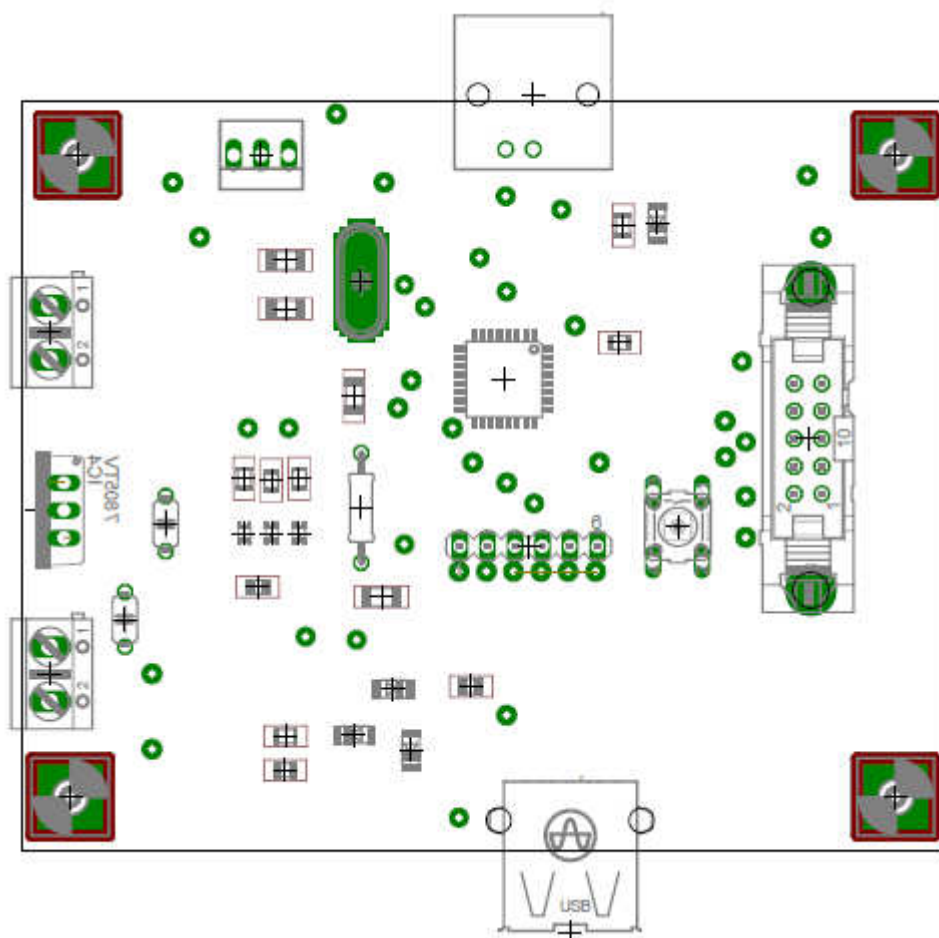
Motiv DPS hlavní desky – vrstva TOP:



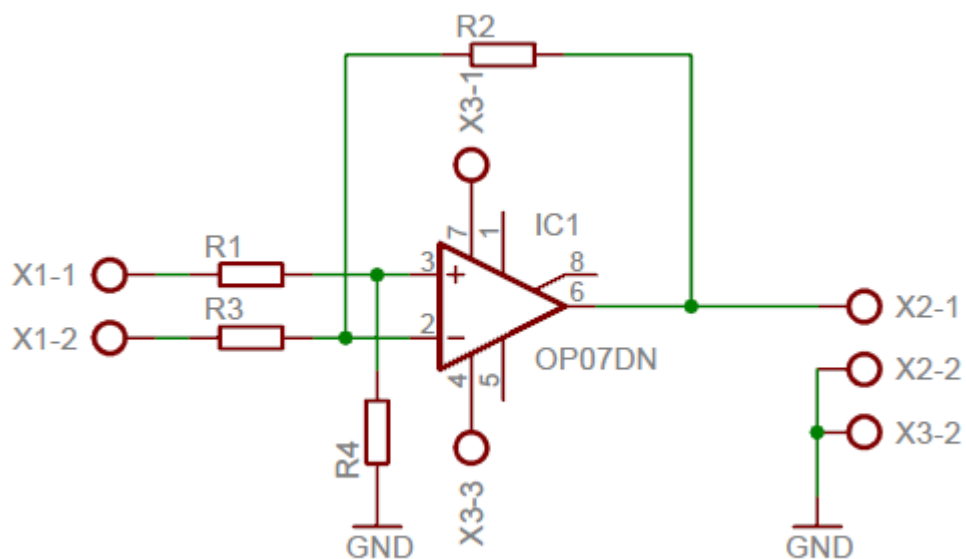
Motiv DPS hlavní desky – vrstva BOTTOM:



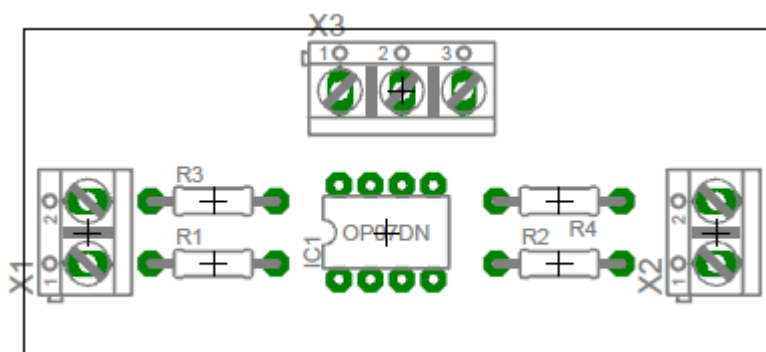
Motiv DPS hlavní desky – rozmístění součástek:



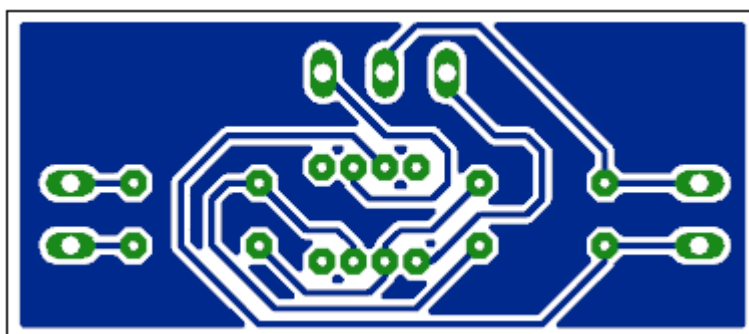
### B. Schéma zesilovače:



Motiv DPS zesilovače – rozmístění součástek:

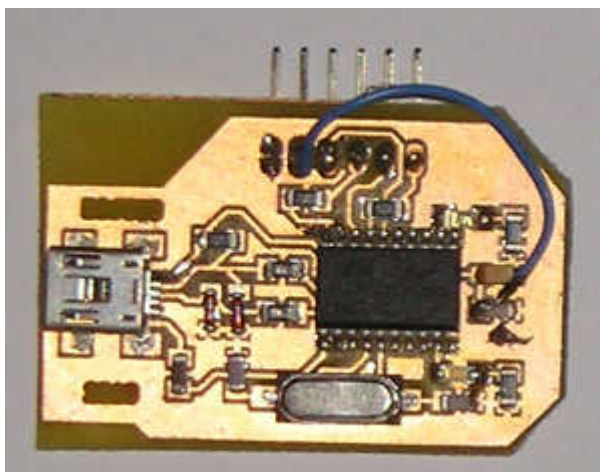


Motiv DPS zesilovače

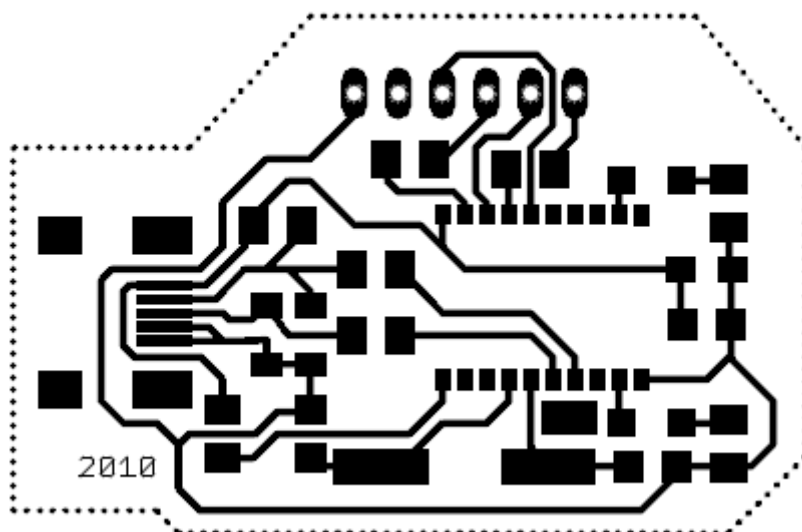




***C. Náhled programátoru:***



Motiv DPS programátoru



Motiv DPS programátoru rozmístění součástek:

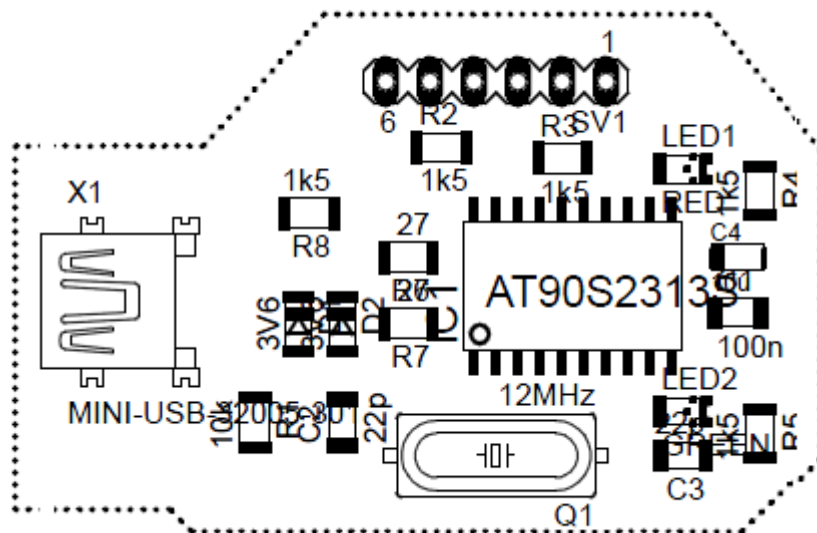
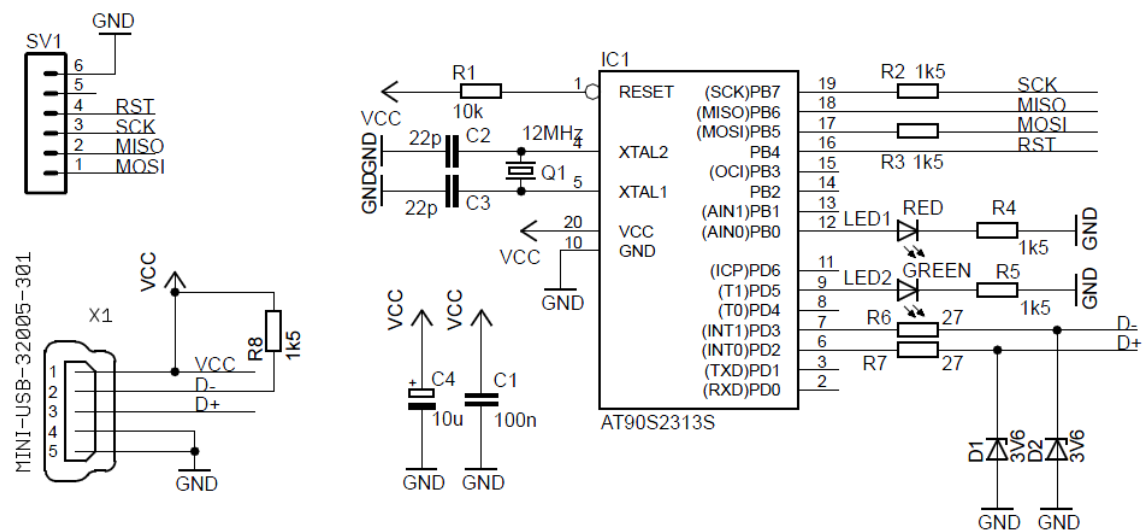
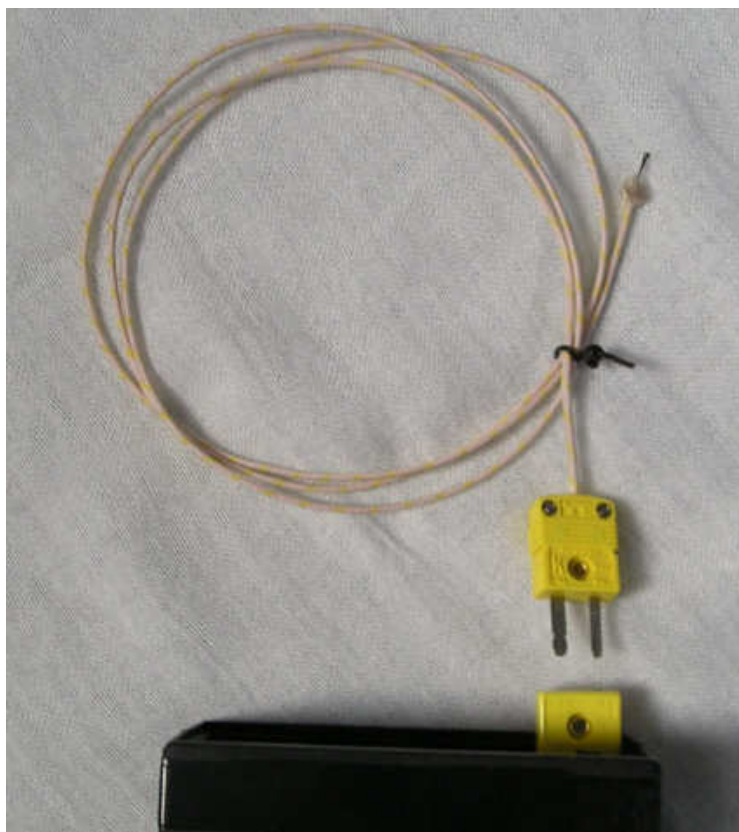
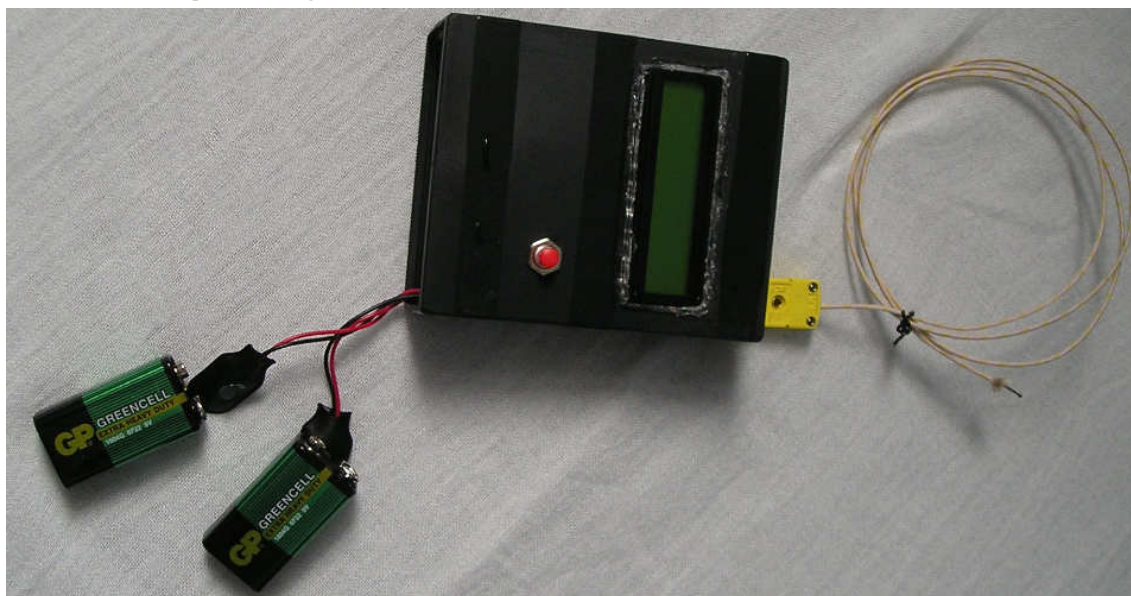


Schéma programátoru:



#### ***D. Foto přístroje***







***E. Fotodokumentace ověření funkce***



***F. Foto plynové válečkové pece***





***G. Dvířka určená pro měření teploty bram***



